

**PENGARUH MEDIA PENDINGIN SESUDAH PENGELASAN
TERHADAP SIFAT MEKANIS STAINLESS STEEL 316**

TUGAS AKHIR

*Diajukan Guna Melengkapi Syarat Dalam Mendapatkan Gelar
Sarjana Teknik Mesin Pada Fakultas Teknik
Universitas Islam Riau*



DISUSUN OLEH :

HERDIANSYAH PUTRA

14.331.0114

PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS ISLAM RIAU

PEKANBARU

2019

LEMBAR PERSETUJUAN

TUGAS AKHIR

PENGARUH MEDIA PENDINGIN SESUDAH PENGELASAN TERHADAP SIFAT MEKANIS STAINLESS STEEL 316

Disusun Oleh :

HERDIANSYAH PUTRA
14.331.0114

Diperiksa Dan Disetujui Oleh :

Dr. KURNIA HASTUTI, ST., MT
Dosen Pembimbing I

Tanggal : 11/12-2019

DODY YULIANTO, ST., MT
Dosen Pembimbing II

Tanggal : 11/12-2019

LEMBAR PENGESAHAN

TUGAS AKHIR

**PENGARUH MEDIA PENDINGIN SESUDAH PENGELASAN
TERHADAP SIFAT MEKANIS STAINLESS STEEL 316**

Disusun Oleh :

HERDIANSYAH PUTRA

14.331.0114

Disetujui Oleh :

PEMBIMBING I

PEMBIMBING II

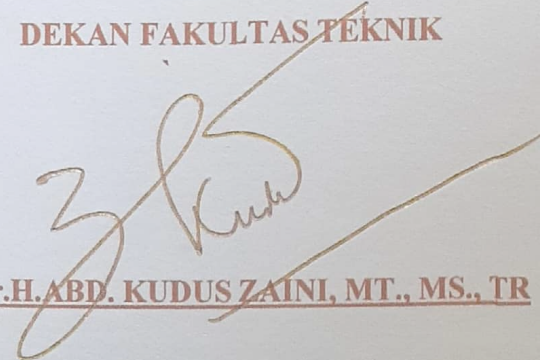

Dr. KURNIA HASTUTI, ST., MT

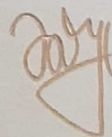

DODY YULIANTO, ST., MT

Disahkan Oleh :

DEKAN FAKULTAS TEKNIK

**KETUA PROGRAM STUDI
TEKNIK MESIN**


Ir. H. ABD. KUDUS ZAINI, MT., MS., TR


DODY YULIANTO, ST., MT

PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam Tugas Akhir ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu Perguruan Tinggi dan sepanjang sepengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali tidak secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Pekanbaru, Desember 2019

HERDIANSYAH PUTRA

NPM : 143310114



DAFTAR RIWAYAT HIDUP

DATA PERSONAL

Nama Lengkap : Herdiansyah Putra
NPM : 14.331.0114
Tempat Tanggal Lahir : Midai, 27 Agustus 1996
Jenis Kelamin : Laki-laki
Alamat : Jl. Pinang Gang Mushola Nurul Amal No.23C

PENDIDIKAN

Sekolah Dasar : SDN 005 Gunung Sebelat
Sekolah Menengah Pertama : SMPN 1 Jl. Tanjung Selamat Kec. Midai
Sekolah Menengah Atas : SMAN 1 Jl. Raya Tanjung Lampung Kec. Suak
Midai
Perguruan Tinggi : Universitas Islam Riau

TUGAS AKHIR

PENGARUH MEDIA PENDINGIN SESUDAH PENGELASAN TERHADAP
SIFAT MEKANIS STAINLESS STEEL 316

Tempat Penelitian : Laboratorium Material Teknik Universitas Islam
Riau

Tanggal Seminar : 16 November 2019

Tanggal Sidang : 7 Desember 2019

PENGARUH MEDIA PENDINGIN SESUDAH PENGELASAN TERHADAP SIFAT MEKANIS STAINLESS STEEL 316

Herdiansyah Putra, Kurnia Hastuti, Dody Yulianto

Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Islam Riau
Jl. Kaharudin Nasution Km 11 No.113 Perhentian Marpoyan, Pekanbaru

Telp. 0761-674653 Fax. (0761) 674834

Email : Herdiansyahputraa@gmail.com

ABSTRAK

Salah satu penggunaan baja tahan karat 316 sebagai *heat exchanger* yang berfungsi untuk memanaskan minyak mentah yang akan di proses selanjutnya oleh destilasi. SS 316 ini banyak dipakai karena ketahanan terhadap korosi dan kekuatan yang lebih baik dibanding baja karbon dan besi cor sehingga bisa mengurangi biaya perawatan. Pada aplikasi lapangan SS 316 akan mengalami pengelasan untuk menyambung bagian *Shell* pada *heat exchanger* tersebut, namun dalam proses pengelasan akan terjadi perlakuan panas dan mengakibatkan penurunan sifat mekanis pada SS 316. Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan pengaruh media pendingin sesudah pengelasan terhadap sifat mekanis SS 316. Pada penelitian ini dilakukan pengelasan SMAW pada logam SS 316 dengan tipe elektroda (E316 – 16) dan media pendingin sesudah pengelasan di variasikan yaitu udara bebas, air dan oli. Setelah proses pengelasan dilakukan uji tarik, kekerasan dan pengamatan *metalography*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa tegangan tarik hasil pengelasan SS 316 dengan media pendingin berbeda didapatkan, media pendingin air memiliki nilai tegangan tarik yang paling tinggi sebesar 576,39 MPa sebaliknya media pendingin udara memiliki nilai tegangan tarik terendah yaitu 569,47 MPa. Nilai kekerasan tertinggi pada daerah lasan dan HAZ terdapat pada pendingin air sebesar 134,3 HV untuk daerah lasan dan 141,5 HV daerah HAZ, dan nilai kekerasan terendah pada daerah lasan dan HAZ terdapat pada pendingin udara sebesar 121,6 HV untuk daerah lasan dan 135,7 HV untuk daerah HAZ. Hasil foto struktur mikro untuk spesimen tanpa pengelasan berupa austenit dan delta ferit. Sedangkan struktur mikro untuk pengelasan dengan variasi media pendingin berbentuk austenit dan delta ferit tetapi terjadi perbedaan besar butir dan batas butir pada daerah HAZ serta adanya endapan karbida krom pada batas butir. Media pendingin yang memiliki sifat mekanis yang baik dari tiga media pendingin adalah media pendingin air di tunjukkan hasil tegangan tarik yang tinggi, nilai kekerasan tinggi dan endapan karbida khrom pada batas butir sedikit.

Kata Kunci : *Stainless steel 316, heat exchanger*, Pengelasan, media pendingin

THE EFFECT OF COOLING MEDIA AFTER WELDING AGAINST STAINLESS STEEL 316 MECHANICAL PROPERTIES

Herdiansyah Putra, Kurnia Hastuti, Dody Yulianto

Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Islam Riau
Jl. Kaharudin Nasution Km 11 No.113 Perhentian Marpoyan, Pekanbaru

Telp. 0761-674653 Fax. (0761) 674834

Email : Herdiansyahputraa@gmail.com

ABSTRACT

One use of stainless steel 316 as a heat exchanger to heat crude oil that would be processed later by destilation. SS 316 is widely used due to corrosion resilience and strength better than carbon steel and cast iron, thus reducing maintenance costs. On the 316 stainless steel field application would experience welding to connect shell parts to the heat exchanger, but in the welding process there would be heat treatment and cause a mechanical downturn in SS 316. The research aims to get the influence of cooling media after welding against the mechanical nature of stainless steel 316. In this study, Shield Metal Arc welding was done on a SS 316 metal with type of electrode (E316-16) and a cooling medium after that weld is in variation which are free air, water and oil. After the welding process was done recitation tests, violence and metallurgical observations. The result of this study the voltage of drag results of SS 316 fixed rate with a contrasting cooling medium has the highest tension value of 576,39 MPa, whereas air conditioning media has the lowest draw value is 569,47 MPa. The highest value of violence in the weld metal area and HAZ is at 134,4 HV for weld metal area and 141,5 HV HAZ area, and the lowest rate of violence at weld metal and HAZ at 121,6 HV for weld metal, and 135,7 for HAZ. Microstructure photographs for non-welding specimens of austenite and delta ferrite. Whereas microstructures for adhesion with variations in cooling media in austenite and delta ferrite but there is a huge difference in the grains and the boundary of the HAZ region as well as the presence of chrome carbide deposit at the grain limit. The cooling media which has the good mechanical properties of three cooling media is water which show high tensile stress results, high hardness value and chrome carbide deposition at slightly grain boundaries.

Keyword: stainless steel 316, heat exchanger, welding, cooling media

KATA PENGANTAR

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Alhamdulillah, segala Puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT, yang telah mencurahkan rahmat, karunia dan hidayah-Nya serta memberikan kesempatan kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan penyusunan Tugas Akhir ini dengan judul “ **Pengaruh Media Pendingin Sesudah Pengelasan Terhadap Sifat Mekanis Stainless Steel 316**”. Tugas Akhir ini penulis susun guna memenuhi salah satu syarat untuk mendapatkan gelas sarjana teknik pada Prodi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Islam Riau (UIR).

Dalam kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah banyak membantu dalam penyusunan Tugas Akhir ini.

Tiada gading yang tak retak, segala usaha telah penulis lakukan dengan sebaik-baiknya, namun penulis menyadari sepenuhnya bahwa isi dari Tugas Akhir ini masih jauh dari kesempurnaan dan tak luput dari kesalahan dan kekurangan. Oleh karena itu penulis mengharapkan kepada semua pihak dapat memberikan kritik dan sarannya yang bersifat membangun demi kesempurnaan penulisan untuk masa yang akan datang. Demikianlah Tugas Akhir ini dibuat semoga bermanfaat bagi penulis dan pembaca.

Pekanbaru, Desember 2019

HERDIANSYAH PUTRA

UCAPAN TERIMA KASIH

Dengan segala kerendahan hati penulis ingin mengucapkan banyak penghargaan dan terima kasih kepada :

1. Ibu Dr. Kurnia Hastuti, ST, MT selaku Dosen Pembimbing I Tugas Akhir yang telah banyak menyediakan waktu, pikiran dan perhatiannya kepada penulis dalam penulisan Tugas Akhir ini.
2. Bapak Dody Yulianto, ST, MT selaku Dosen Pembimbing II Tugas Akhir yang telah banyak menyediakan waktu, pikiran dan perhatiannya kepada penulis dalam penulisan Tugas Akhir ini.
3. Bapak Ir. H. Abd. Kudus Zaini, MT selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Islam Riau
4. Ayahanda (Hendri Fulyadi) dan Ibunda (Jusmaniar) tercinta, serta saudara-saudaraku tersayang (Heri Johardianto, Sintia Juwita Putri) yang selalu mendukung dan memotivasiku untuk kesuksesan menjalani hidup ini.
5. Bapak/Ibu dosen Teknik Mesin umumnya dan khususnya dosen pengajar bidang Material.
6. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu yang telah memberikan kesempatan, bimbingan, bantuan serta fasilitas lainnya sehingga selesainya penyusunan Tugas Akhir ini.

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN PERSETUJUAN	i
LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR	ii
PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR	iii
DAFTAR RIWAYAT HIDUP	iv
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vi
KATA PENGANTAR	vii
UCAPAN TERIMA KASIH.....	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xv
DAFTAR NOTASI.....	xvi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Batasan Masalah	3
1.5 Manfaat Penelitian	4
1.6 Sistematika Penulisan	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Pengertian Baja	6
2.2 Klasifikasi Baja.....	6
2.2.1 Baja Karbon Rendah (<i>low Carbon Steel</i>)	6
2.2.2 Baja Karbon Sedang (<i>Medium Carbon Steel</i>).....	7
2.2.3 Baja Karbon Tinggi (<i>High Carbon Steel</i>).....	8
2.3 Baja Paduan	8
2.4 Pengaruh Unsur Paduan Pada Baja Tahan Karat.....	9
2.4.1 Karbon	9

2.4.2 Silikon (Si).....	10
2.4.3 Mangan (Mn)	10
2.4.4 Posfor (P).....	10
2.4.5 Belerang (S)	11
2.4.6 <i>Chromium</i> (Cr).....	11
2.4.7 Nikel (Ni).....	11
2.4.8 Molibdenum (Mo)	11
2.4.9 Titanium (Ti).....	12
2.5 Baja Tahan Karat (<i>Stainless steel</i>)	12
2.5.1 Baja Tahan Karat Martensit (<i>Martensitic Stainless Steel</i>).....	13
2.5.2 Baja Tahan Karat Feritik (<i>Feritic Stainless Steel</i>)	14
2.5.3 Baja Tahan Karat Austenitik (<i>Austenitic Stainless Steel</i>).....	14
2.6 Struktur Baja Tahan Karat.....	16
2.7 AISI 316	17
2.8 <i>Mechanical Properties</i> dan Komposisi Unsur Kimia AISI 316.....	19
2.9 Pengertian Pengelasan	20
2.10 Proses pengelasan elektroda terbungkus (SMAW)	21
2.11 Arus Pengelasan.....	22
2.12 Elektroda.....	23
2.13 Daerah Pengaruh Panas (HAZ).....	25
2.14 Kampuh V	26
2.15 Pengelasan Baja Tahan Karat	27
2.15.1 Sifat mampu-las Baja Tahan Karat	27
2.16 Sensitivitas (korosi intergranular).....	29
2.16.1 Metode untuk menghindari sensitivitas.....	30
2.17 Media Pendingin	31
2.17.1 Jenis-jenis Media Pendingin	32
2.17.2 Hal yang mempengaruhi kecepatan media pendinginan	33
2.18 Pengujian Tarik.....	34
2.19 Pengujian Kekerasan <i>Vickers</i>	36
2.20 Pengamatan <i>Metalography</i>	38

BAB III METODE PENELITIAN	40
3.1 Waktu dan Tempat	40
3.2 Alat dan Bahan	40
3.2.1 Alat	40
3.2.2 Bahan	47
3.3 Pelaksanaan Penelitian	47
3.4 Metode Pengujian Bahan.....	50
3.4.1 Uji Tarik.....	50
3.4.2 Uji kekerasan	51
3.4.3 Pengamatan Metalography	52
3.5 Diagram Alir	54
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	55
4.1 Kekuatan Tarik	55
4.2 Kekerasan Material	58
4.3 Pengamatan Struktur Mikro.....	62
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	71
5.1 Kesimpulan.....	71
5.2 Saran.....	72
DAFTAR PUSTAKA	73
LAMPIRAN	74

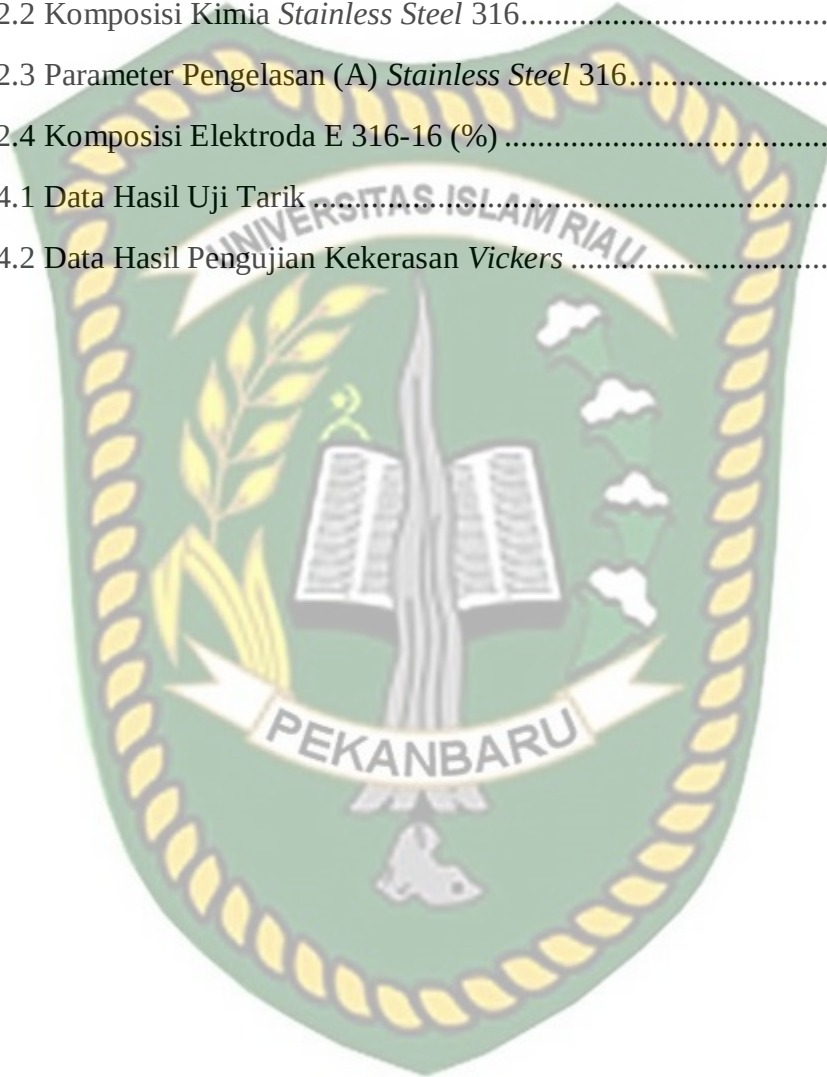
DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
2.1 Kategori Dan Jenis – Jenis <i>Stainless Steel</i>	15
2.2 Diagram Fasa Fe-Cr.....	16
2.3 Diagram <i>Schaeffler</i>	17
2.4 Baja <i>Stainless Steel</i> 316	19
2.5 Las SMAW.....	22
2.6 Bagian Elektroda	24
2.7 Bagian Daerah HAZ	26
2.8 Kampuh V.....	27
2.9 Endapan Antar Butir Karbid Khrom dari Baja 18 Cr-8 Ni.....	28
2.10 Sensitivitas pembentukan Kromium Karbida pada Batas Butir	30
2.11 Kurva Time Temperature <i>Sensitisation</i>	34
2.12 Kurva tegangan-regangan	36
2.12 Teknik Pengujian Kekerasan.....	38
3.1 Mesin Las AC/DC	41
3.2 Kikir	41
3.3 Gerinda	42
3.4 Sikat Baja	42
3.5 Alat Ukur (Jangka Sorong)	43
3.6 Perlengkapan Keselamatan	43
3.7 Mesin uji tarik HUNG TA HT -8503	44
3.8 Mesin Uji Kekerasan	45
3.9 Mesin Polishing	46
3.10 Mikroskop Optik	46
3.11 Kampuh V	48
3.12 Spesimen Uji Tarik ASTM E8.....	51

3.13	Spesimen Uji Kekerasan ASTM E-92	52
3.14	Spesimen Pengamatan Mikro Struktur	53
4.1	Grafik Perbandingan Kekuatan Tarik dan Tegangan Luluh	56
4.2	Grafik Perbandingan Reduksi Penampang dan Elongasi.....	57
4.3	Daerah Titik Pengujian Kekerasan <i>Vickers</i>	59
4.4	Grafik Perbandingan Nilai kekerasan baja <i>stainless steel</i> 316.....	60
4.5	Struktur Mikro Logam Induk <i>Stainless steel</i> 316.....	62
4.6	Struktur Mikro Daerah Lasan Dan HAZ Media Pendingin Air	64
4.7	Struktur Mikro Daerah Lasan dan HAZ Media Pendingin Oli	65
4.8	Struktur Mikro Daerah Lasan dan HAZ Media Pendingin Udara.....	66
4.9	Logam Lasan Baja Tahan Karat austenit (IMOA)	67

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 <i>Mechanical Properties (Typical Room Temperature Properties)</i>	20
Tabel 2.2 Komposisi Kimia <i>Stainless Steel 316</i>	20
Tabel 2.3 Parameter Pengelasan (A) <i>Stainless Steel 316</i>	23
Tabel 2.4 Komposisi Elektroda E 316-16 (%)	25
Tabel 4.1 Data Hasil Uji Tarik	52
Tabel 4.2 Data Hasil Pengujian Kekerasan <i>Vickers</i>	55



DAFTAR LAMPIRAN

I.	Hasil Perhitungan Uji Tarik	74
II.	Hasil Perhitungan Uji Kekerasan	76
III.	Pengelasan dan Penelitian <i>Stainless steel 316</i>	79
IV.	Perhitungan rata-rata Besar Butir	81



DAFTAR NOTASI

σ_u	: Tegangan Tarik Maksimum (MPa)
P_u	: Beban Tarik (N)
A_0	: Luasan Awal Penampang (mm ²)
ε	: Regangan (%)
L_f	: Panjang Awal (mm)
L_0	: Panjang Akhir (mm)
q	: Reduksi Penampang (%)
A_1	: Luas Penampang Terkecil (mm ²)
P	: Beban Tekan yang diberikan (kg)
d	: Panjang diagonal bekas injakan (mm)
θ	: Sudut Puncak Penetrator (136°)



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Baja tahan karat jenis austenitik banyak digunakan di industri kimia. Baja tahan karat ini bersifat non magnetik mampu las baik dan mempunyai ketahanan korosi yang lebih baik dari pada baja tahan karat martensitik dan feritik sehingga pemakaiannya lebih banyak pada lingkungan korosi berat. Baja tahan karat jenis ini tidak dapat dikeraskan dengan perlakuan panas, tetapi dapat dilakukan pengerjaan dingin untuk meningkatkan kekerasannya.

Salah satu contoh baja tahan karat austenitik yang banyak digunakan adalah baja tahan karat 316. Dimana penggunaan baja tahan karat 316 di industri migas sebagai *Heat exchanger* yang berfungsi untuk memanaskan minyak mentah yang akan di proses selanjutnya oleh destilasi. Pada aplikasi dilapangan baja tahan karat 316 akan mengalami pengelasan untuk menyambung bagian yang diinginkan, namun dalam proses pengelasan akan terjadi perlakuan panas dan mengakibatkan penurunan sifat mekanis dan ketahanan korosi *stainless steel* 316.

Pada waktu terjadinya pengelasan dan pendinginan lambat dari 680 °C ke 480 °C akan terbentuk karbida Cr yang mengendap diantara butir, endapan ini terjadi pada suhu sekitar 650 °C dan menyebabkan penurunan sifat tahan karat dan sifat mekaniknya (Wirjosumarto, 2000). Hal ini menyebabkan kekuatan tarik, struktur mikro, dan kekerasannya berubah akibat pengaruh pengelasan dan panas lanjut.

Ikhsan (2017) telah melakukan penelitian tentang pengaruh media pendingin pada pengelasan terhadap ketahanan korosi. Pengujian dilakukan dengan menggunakan 3 macam media pendingin yaitu air demin, oli dan udara bebas kemudian material di masukkan ke dalam larutan 45% H_2SO_4 selama 1 jam. Hasil pengujian menunjukkan ketahanan korosi logam las dengan media pendingin air lebih baik dibanding udara dan oli. Hal ini dikarenakan tidak terjadinya proses sensititasi dan media pendingin tidak terdapat kontaminasi yang mempercepat laju korosi.

Proses pembekuan pada pengelasan sangat berpengaruh terhadap sifat mekanis dari logam, Pada proses pengelasan *stainless steel* 316 terjadi pendinginan lambat karna hanya mendinginkan dengan udara yang akan menyebabkan terjadinya sensititasi pada material, untuk itu pada penelitian ini akan di variasikan media pendingin sesudah pengelasan untuk dapat melihat pengaruh dari media pendingin setelah pengelasan terhadap sensititasi yang terjadi pada pengelasan *stainless steel* 316.

Berdasarkan latar belakang hal tersebut di atas maka penulis merasa perlu melakukan penelitian untuk mengetahui sejauh mana pengaruh yang terjadi pada media pendingin sesudah pengelasan baja tahan karat austenitik 316 agar tidak terjadi sensititasi (endapan karbida Cr terlalu banyak pada batas butirnya).

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas dapat dibuat rumusan masalah sebagai berikut :

1. Bagaimana pengaruh media pendingin sesudah pengelasan terhadap sifat mekanis *stainless steel* 316 ?
2. Bagaimana pengaruh media pendingin sesudah pengelasan terhadap struktur mikro hasil pengelasan *stainless steel* 316 ?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian ini adalah untuk mendapatkan :

1. Mendapatkan hasil pengelasan *stainless steel* 316 yang kuat/tahan dalam penggunaannya dilapangan.
2. Mendapatkan struktur mikro pada *stainless steel* 316 hasil pengelasan dengan variasi media pendingin.

1.4 Batasan Masalah

Mengingat sangat kompleksnya permasalahan dalam proses pengelasan, maka disini kami perlu membatasi permasalahan agar pembahasan lebih terfokus.

Batasan-batasan itu antara lain :

1. Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah baja tahan karat jenis austenitik 316 berupa pelat dengan ketebalan ± 6 mm.
2. Proses pengelasan dilakukan dengan metode las elektroda terbungkus atau SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*).
3. Logam pengisi (*filler metal*) standar AWS A.5.4. E 316-16.

4. Media pendingin sesudah pengelasan divariasikan dengan menggunakan air, oli dan udara.
5. Sifat mekanis yang diuji adalah kekerasan dan kekuatan tarik.

1.5 Manfaat Penelitian

Dengan melalui pengujian laboratorium diharapkan adanya manfaat yang dapat diambil dari penelitian ini, yaitu :

1. Pengembangan Akademis

Penyusun dapat menerapkan ilmu yang telah dipelajari dan dapat memberi pengetahuan tentang hasil penelitian yang telah dilakukan kepada pembaca atau ahli permesinan dan konsumen sebagai referensi pengembangan penelitian selanjutnya sehingga bermanfaat untuk memperkaya khasanah ilmu pengetahuan dan teknologi.

2. Pengembangan Industri

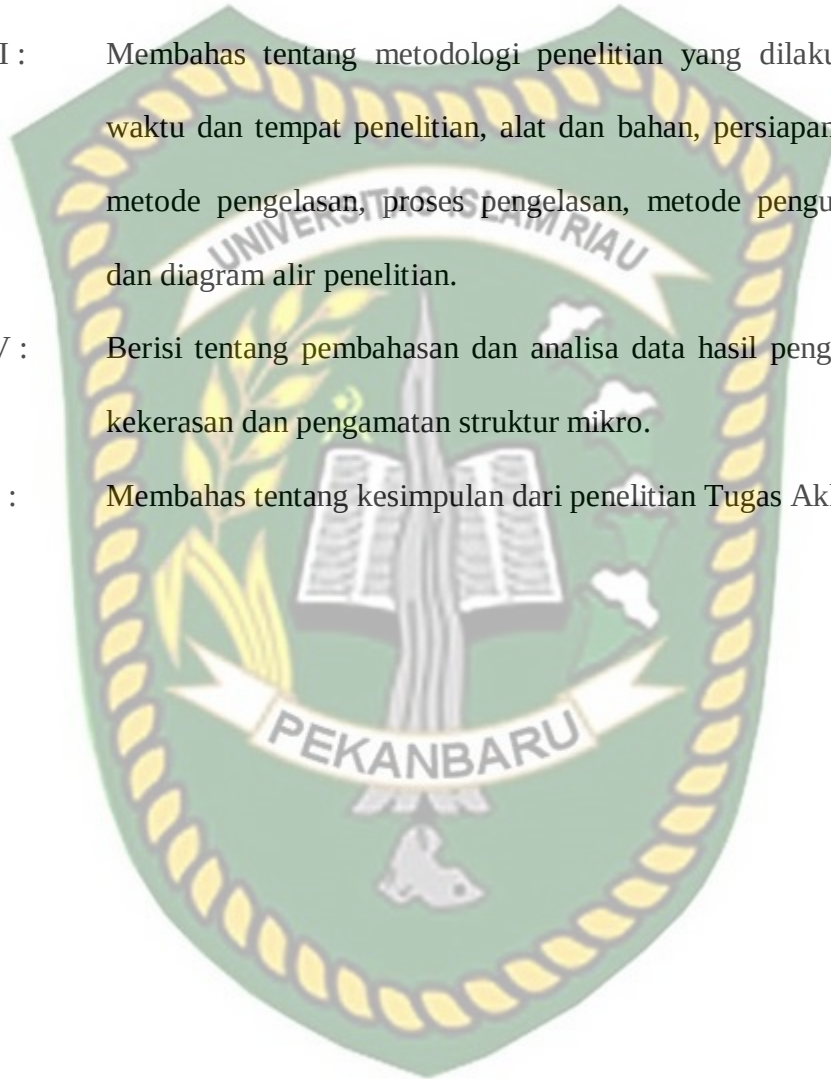
Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi pada dunia pengelasan serta kemajuan industri terutama industri baja, alat berat, bejana tekan, mesin-mesin perkapalan dan industri lain yang menggunakan baja tahan karat austenitik sebagai material pendukungnya.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan Tugas Akhir ini di rangkum dalam beberapa bab dimana setiap bab menjelaskan bagian-bagian dari Tugas Akhir ini.

Bab I : Memaparkan latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, manfaat penelitian dan sistematika penulisan.

- Bab II : Memaparkan tentang baja, baja tahan karat (*stainless steel*), perlakuan panas, sensititasi, pengelasan serta pengujian sifat mekanis material.
- Bab III : Membahas tentang metodologi penelitian yang dilakukan yaitu: waktu dan tempat penelitian, alat dan bahan, persiapan spesimen, metode pengelasan, proses pengelasan, metode pengujian bahan dan diagram alir penelitian.
- Bab IV : Berisi tentang pembahasan dan analisa data hasil pengujian tarik, kekerasan dan pengamatan struktur mikro.
- Bab V : Membahas tentang kesimpulan dari penelitian Tugas Akhir ini.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Baja

Baja adalah besi karbon campuran logam yang dapat berisi konsentrasi dari elemen campuran lainnya, ada ribuan campuran logam lainnya yang mempunyai perlakuan bahan dan komposisi berbeda. Sifat mekanis pada baja bergantung kepada kandungan karbon, dimana secara normal kandungan karbonnya kurang dari 1,0%. Sebagian dari baja umumnya digolongkan menurut konsentrasi karbonnya, yaitu jenis karbon rendah, karbon sedang dan karbon tinggi.

Baja merupakan bahan dasar vital untuk industri. Semua segmen kehidupan, mulai dari peralatan dapur, transportasi, generator pembangkit listrik, sampai kerangka gedung dan jembatan menggunakan baja. Besi baja menduduki peringkat pertama di antara barang tambang logam dan produknya melingkupi hampir 90% dari barang berbahan logam.

2.2 Klasifikasi Baja

Berdasarkan tinggi rendahnya prosentase karbon di dalam baja, baja dapat diklasifikasikan sebagai berikut:

2.2.1 Baja Karbon Rendah (*low carbon steel*)

Baja jenis ini mempunyai kandungan karbon di bawah 0,25%. Baja karbon rendah tidak merespon pada perlakuan panas (*heat treatment*) yang bertujuan untuk mengubah struktur mikronya menjadi martensit. Penguatan (*strengthening*) dapat dilakukan dengan perlakuan dingin (*cold work*). Struktur mikro baja karbon rendah terdiri dari unsur pokok ferit dan perlit, karena itu baja ini relatif lunak dan lemah

tapi sangat bagus pada kelenturannya dan kekerasannya serta baja jenis ini *machinable* dan kemampulan yang baik. Baja karbon rendah sering digunakan pada:

- Baja karbon rendah yang mengandung 0,04% - 0,10% C untuk dijadikan baja-baja plat atau strip.
- Baja karbon rendah yang mengandung 0,05% C digunakan untuk keperluan badan-badan kendaraan.
- Baja karbon rendah yang mengandung 0,15% - 0,30% C digunakan untuk konstruksi jembatan, bangunan, membuat baut atau dijadikan baja konstruksi.

Biasanya karbon jenis ini memiliki sifat-sifat mekanik antara lain memiliki kekuatan luluh 275 MPa (40.000 psi), kekuatan maksimum antara 415 dan 550 MPa (60.000 sampai 80.000 psi), dan kelenturan 25% EL (elongation).

2.2.2 Baja Karbon Sedang (*medium carbon steel*)

Baja karbon sedang memiliki kandungan karbon antara 0,25 dan 0,60%. Baja jenis ini dapat diberi perlakuan panas *austenizing*, *quenching*, dan *tempering* untuk memperbaiki sifat-sifat mekaniknya. Baja karbon sedang memiliki kemampukan yang rendah serta dapat berhasil diberi perlakuan panas hanya di bagian-bagian yang sangat tipis dan dengan rasio *quenching* yang sangat cepat. Penambahan kromium, nikel dan molibdenum dapat memperbaiki kapasitas logam ini untuk diberikan perlakuan panas, untuk menaikkan kekuatan-kelenturannya yang berdampak pada penurunan nilai kekerasannya. Baja karbon sedang ini biasa

dipakai untuk roda dan rel kereta api, *gears*, *crankshafts*, dan bagian-bagian mesin lainnya yang membutuhkan kombinasi dari kekuatan tinggi, tahan aus dan keras.

2.2.3 Baja Karbon Tinggi

Baja karbon tinggi biasanya memiliki kandungan karbon antara 0,60 dan 1,40%. Baja karbon tinggi adalah adalah baja yang paling keras dan kuat serta paling rendah kelenturannya di antara baja karbon lainnya. Baja ini mempunyai tegangan tarik paling tinggi dan banyak digunakan untuk material *tools*. Salah satu aplikasi dari baja ini adalah pembuatan kawat baja dan kabel baja. Berdasarkan jumlah karbon yang terkandung di dalam baja maka baja karbon ini banyak digunakan dalam pembuatan pegas, alat perkakas seperti palu, gergaji, atau pahat potong. Selain itu baja jenis ini banyak digunakan untuk keperluan industri lain seperti pembuatan kikir, pisau cukur, mata gergaji dan lain sebagainya.

2.3 Baja Paduan

Baja paduan didefinisikan sebagai suatu baja yang dicampur dengan satu atau lebih unsur campuran. Seperti nikel, kromium, molibdenum, vanadium, mangan dan *wolfram* yang berguna untuk memperoleh sifat-sifat yang dikehendaki (kuat, keras). Suatu kombinasi antara dua atau lebih unsur campuran, misalnya baja yang dicampur dengan unsur kromium dan molibdenum, akan menghasilkan baja yang mempunyai sifat keras yang baik dan sifat kenyal (sifat logam ini membuat baja dapat dibentuk dengan cara dipalu ditempa, digiling, dan ditarik). Jika dicampur dengan chromium dan molibdenum akan menghasilkan sifat kenyal yang memuaskan serta tahan terhadap panas. Baja paduan dihasilkan dengan biaya untuk penambahannya yang khusus yang dilakukan dalam industri pabrik.

2.4 Pengaruh Unsur Paduan Pada Baja Tahan Karat

Baja tahan karat adalah paduan berbahan dasar besi dengan kandungan besi mulai dari 50 hingga 88% berat komposisi. Tambahan paduan utama untuk baja tahan karat adalah kromium dan karbon untuk kadar feritik dan martensit, dengan penambahan nikel untuk kadar austenit dan dupleks. Pada dasarnya semua *stainless steel* mengandung mangan dan silikon sebagai tambahan yang disengaja. Penambahan paduan lainnya termasuk molibdenum, niobium, titanium, alumium, tembaga, tungsten, nitrogen dan lain-lain. Mengembangkan sifat-sifat khusus, meningkatkan ketahanan terhadap korosi, atau mempengaruhi struktur mikro. Unsur pengotor yang biasa ditemukan dalam baja tahan karat termasuk nitrogen, oksigen, belerang dan posfor. Semua paduan dan elemen pengotor ini memiliki efek pada kemampuan las dan kinerja. Dalam kebanyakan kasus, tingkat elemen-elemen ini didalam logam dasar atau pengisi dikendalikan oleh spesifikasi bahan untuk memastikan bahwa baja melakukan seperti yang diantisipasi. Berikut adalah pengaruhnya terhadap paduan baja :

2.4.1 Karbon (C)

Karbon terdapat dalam semua baja, tetapi tidak seperti C-Mn dan baja struktural paduan rendah, biasanya diinginkan untuk mengontrol kadar karbon dibawah 0,1%. Pengecualiannya adalah kadar martensit, di mana karbon sangat penting untuk penguatan transformasi paduan ini. Karbon memberikan efek penguatan khususnya pada suhu tinggi. Dalam kebanyakan paduan, karbon bergabung dengan unsur lain untuk membentuk karbida, dalam kasus karbida $M_{23}C_6$ yang kaya Cr, dapat terjadi degradasi pada ketahanan korosi, dan untuk

alasan ini karbon rendah (L-grade) diproduksi dimana kandungan karbon dibawah 0,04%. Perlu dicatat bahwa karbida $M_{23}C_6$ mengandung atom logam hampir empat kali lebih banyak (kebanyakan kromium) sebagai atom karbon, dan atom kromium sedikit lebih empat kali berat sebuah atom karbon. Berdasarkan berat persen, pembentukan karbida $M_{23}C_6$ dapat menghilangkan kromium 16 kali lebih banyak dari karbon.

2.4.2 Silikon (Si)

Silikon meningkatkan ketahanan terhadap oksidasi, Penambahan unsur silikon dapat menurunkan kekuatan tarik dan keuletan tetapi dapat menaikkan kekerasan dan elastisitas baja. Penambahan silikon yang berlebihan akan menyebabkan baja mudah retak. Silikon juga mempromosikan struktur feritik.

2.4.3 Mangan (Mn)

Mangan digunakan dalam baja tahan karat untuk meningkatkan keuletan. Efeknya pada keseimbangan ferit/austenit berpengaruh pada suhu. Pada suhu rendah mangan adalah penstabil austenit tetapi pada suhu tinggi akan menstabilkan ferit. Mangan meningkatkan kelarutan nitrogen dan digunakan untuk mendapatkan kandungan nitrogen yang tinggi dalam baja austenitik.

2.4.4 Posfor (P)

Dengan penambahan sedikit unsur Posfor, maksimum 0,04% dapat membantu meningkatkan kekuatan dan ketahanan korosi. Kehadiran Posfor di dalam *stainless steel* austenitik dapat meningkatkan kekuatan. Penambahan Posfor juga dapat meningkatkan kerentanan terhadap *crack* saat pengelasan.

2.4.5 Belerang (S)

Belerang ditambahkan pada baja tahan karat untuk memperbaiki sifat-sifat mampu mesin. Penambahan sulfur akan mengurangi ketahanan terhadap korosi, keuletan dan sifat fabrikasi, seperti kemampuan las dan sifat mampu mesin.

2.4.6 *Chromium* (Cr)

Chromium dengan karbon membentuk karbida dapat menambah dan menaikkan daya tahan korosi dan daya tahan terhadap oksidasi yang tinggi dan berdampak keuletan paduannya berkurang. Selain itu, dapat digunakan untuk meningkatkan mampu las dan mampu panas baja. Kekuatan tarik, ketangguhan serta ketahanan terhadap abrasi juga bisa meningkat. Bisa juga meningkatkan *hardenability* material jika mencapai kandungan 50%.

2.4.7 Nikel (Ni)

Nikel memberi pengaruh sama seperti Mn yaitu menurunkan suhu kritis dan kecepatan pendinginan kritis. Ni membuat struktur butiran menjadi halus dan menambah keuletan. Nikel sangat penting untuk kekuatan dan ketangguhan dalam baja dengan cara mempengaruhi proses transformasi fasa. Jika kandungan Ni banyak maka austenit akan stabil hingga mencapai temperatur kamar. Selain itu nikel juga mampu menaikkan kekuatan, ketangguhan dan meningkatkan ketahanan korosi.

2.4.8 Molibdenum (Mo)

Molibdenum mengurangi kerapuhan pada baja karbon tinggi, menstabilkan karbida serta memperbaiki kekuatan baja Meningkatkan kemampukerasan baja,

menurunkan kerentanan terhadap *temper embrittlement* (400 – 500 °C), meningkatkan kekuatan tarik pada temperatur tinggi dan kekuatan *creep*.

2.4.9 Titanium (Ti)

Titanium bila ditambahkan dalam baja austenitik dapat meningkatkan ketahanan terhadap korosi intergranular tetapi juga meningkatkan sifat mekanik pada suhu tinggi. Dalam baja tahan karat feritik, titanium ditambahkan untuk meningkatkan ketangguhan dan ketahanan korosi jumlah pengantara dalam larutan padat. Dalam baja martensit titanium menurunkan kekerasan kekerasan dan meningkatkan ketahanan temper. Dalam presipitasi baja pengerasan titanium digunakan untuk membentuk senyawa intermetalik yang digunakan untuk meningkatkan kekuatan.

2.5 Baja Tahan Karat (*Stainless Steel*)

Baja tahan Karat atau *stainless steel* merupakan kelompok baja paduan tinggi berdasarkan Fe-Cr, Fe-Cr-C dan Fe-Cr-Ni. Untuk menjadi baja tahan karat, baja ini harus terdiri minimal 10,5% Cr. Beberapa baja tahan karat mengandung lebih dari 30% Cr atau kurang dari 50% Fe. Kemampuan tahan karat diperoleh dari terbentuknya lapisan film oksida kromium, dimana lapisan oksida ini menghalangi lapisan oksida besi (Ferum). Tetapi harus ditunjukkan bahwa banyak baja dengan kandungan 12% Cr atau bahkan lebih banyak Cr pada pemakainnya akan menunjukkan karat ketika terkena kondisi sekitar. Ini karena beberapa Cr diikat sebagai karbida atau senyawa lain sehingga mengurangi komposisi matriks Cr yang berfungsi sebagai lapisan oksida pelindung korosi.

Baja tahan karat digunakan dalam berbagai aplikasi, seperti pembangkit listrik, pemrosesan kimia dan kertas serta dalam produk komersial seperti peralatan dapur dan mobil. Sebagian besar baja tahan karat dapat dilas, tetapi banyak yang membutuhkan prosedur khusus. Dalam hampir semua kasus pengelasan menghasilkan perubahan yang signifikan pada logam las yang dan daerah yang terkena panas (HAZ) terhadap logam dasar. Ini dapat merupakan perubahan keseimbangan fasa yang diinginkan, pembentukan karbida Cr, pertumbuhan butir, pemisahan elemen paduan dan pengotor dan reaksi lainnya. Secara umum, ini mempengaruhi sifat mekanis dan kinerja dari baja tahan karat.

Baja tahan karat biasanya dibagi lima jenis, yaitu: baja tahan karat martensit, baja tahan karat feritik, baja tahan karat austenitik, baja tahan karat duplex, dan baja tahan karat pengerasan presipitasi.

2.5.1 Baja Tahan Karat Martensit (*Martensitic Stainless Steels*)

Baja tahan karat martensit adalah gabungan unsur dari kromium dan karbon yang mempunyai struktur kristal *body centered cubic* (bcc) atau martensit ketika didinginkan diudara. Baja tahan karat martensit umumnya mengandung 10,5% Cr – 18% Cr dan C lebih dari 1,2%. Baja tahan karat martensit secara umum di aplikasikan pada bilah turbin uap, gas dan mesin jet yang beroperasi pada suhu relatif rendah. Baja kelas supermartensit karbon rendah banyak digunakan pada jaringan pipa minyak dan gas. Baja tahan karat martensit umumnya tidak digunakan diatas 650°C. Paduan martensit dianggap tidak baik untuk dilas dari jenis baja tahan karat dikarenakan pembentukan martensit murni selama pendinginan setelah pengelasan.

2.5.2 Baja Tahan Karat Feritik (*Feritic Stainless Steels*)

Baja tahan karat feritik digolongkan demikian karena fasa yang dominan adalah ferit. Paduan ini memiliki ketahanan yang baik terhadap retak korosi tegangan, korosi piting dan korosi celah (terutama dilingkungan klorida). Baja tahan karat feritik memiliki struktur kristal bcc dengan kandungan kromium sekitar 10,5% - 30% dan bersifat *ferromagnetic*. Baja tahan karat feritik umumnya terbatas penggunaannya pada suhu dibawah 400°C karena pembentukan fase pengikisan dan nilai Cr yang tinggi sangat rentan terhadap sensititasi (475°C). Secara metalurgi, lasan dalam paduan ini terutama bersifat feritik, meskipun martensit dapat ada dalam kondisi tertentu dan pengendapan karbida dan nitrida sering terjadi.

2.5.3 Baja Tahan Karat Austenitik (*Austenitic Stainless Steels*)

Baja tahan karat austenitik mewakili yang terbanyak digunakan dan diproduksi dalam tonase yang lebih tinggi dari kelompok baja tahan karat lainnya dikarenakan memiliki ketahanan korosi yang di sebagai besar lingkungan. Baja tahan karat austenitik hanya dapat di perkuat signifikan dengan pengerjaan dingin (*cold Working*). Baja ini memiliki kemampuan las yang baik dari jenis baja tahan karat lainnya dan bersifat *cryogenic* dan tahan terhadap penggunaan ditemperatur tinggi.

Baja tahan karat austenitik umumnya memiliki keuletan dan ketangguhan yang baik dan menunjukkan perpanjangan yang signifikan selma pembebanan tarik. Baja tahan karat austenitik ini lebih mahal dari martensit dan feritik, karena kandungan paduan yang lebih tinggi dari paduan ini. Meskipun demikian baja tahan

karat austenitik ini menawarkan keuntungan teknik yang berbeda, khususnya kemampuan bentuk dan kemampuan lasan yang dari jenis baja tahan karat lainnya.

Baja tahan karat austenitik digunakan dalam beragam aplikasi, termasuk dukungan dan penahanan struktural, penggunaan arsitektur, peralatan dapur, dan produk medis. Mereka banyak digunakan tidak hanya karena ketahanan korosi mereka tetapi karena mereka mudah dibentuk, dapat dibuat, dan tahan lama. Beberapa grade paduan tinggi digunakan untuk servis suhu sangat tinggi (di atas 1000°C) untuk aplikasi seperti cetakan perlakuan panas. Selain tingkat kromium yang lebih tinggi, paduan ini biasanya mengandung tingkat silikon (dan kadang-kadang aluminium) dan karbon yang lebih tinggi, untuk mempertahankan oksidasi dan ketahanan dan kekuatan karburisasi. Pengelompokan baja tahan karat dapat dilihat pada gambar 2.1.

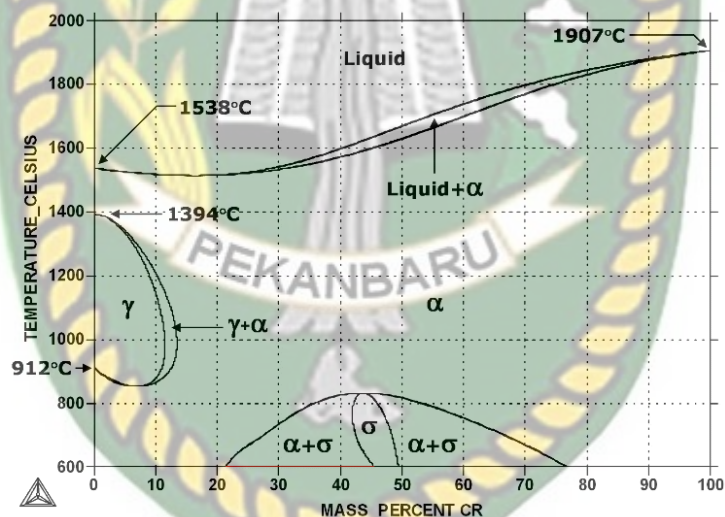


Gambar 2.1 Kategori Dan Jenis – Jenis *Stainless Steel* (Sumber : Lippold, 2005)

Dari gambar 2.1, tentu sudah memiliki gambaran menyeluruh bagaimana *stainless steel* terbagi menjadi beberapa kategori dan juga jenis. Secara sederhana, *stainless steel* terbagi atas lima kategori dasar, yaitu *martensitic*, *ferritic*, *austenitic*, *duplex* dan *precipitation hardening*.

2.6 Struktur Baja Tahan Karat

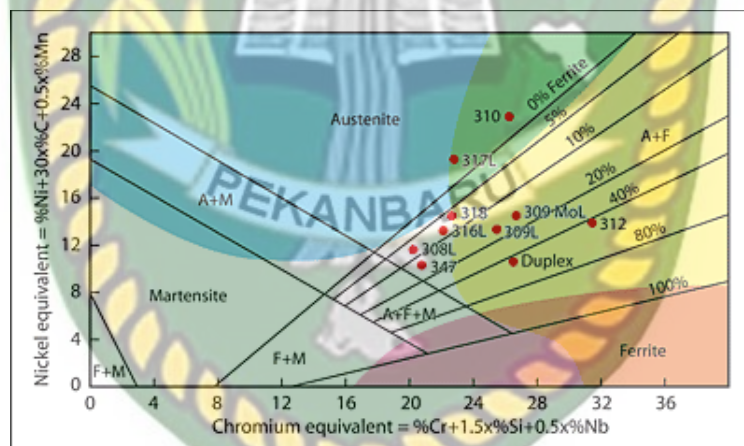
Memperhatikan unsur Cr, yang menjadi komponen utama pada baja tahan karat, diagram fasa Fe-Cr ditunjukkan pada gambar 2.2. Cr dapat larut dalam besi memperluas daerah α (ferit). Dalam baja dengan 12%Cr pada temperatur di atas 900 °C terjadi fasa γ (austenit). Dalam paduan yang nyata, C dan N juga terkandung, jadi fasa γ diperluas ke daerah yang mempunyai konsentrasi Cr lebih tinggi. Baja tahan karat 12%Cr biasa dipakai, diaustenitkan dari 900 sampai 1000 °C tergantung kadar C nya, dan dicelup dingin pada minyak. Sehingga mempunyai struktur martensit ia menjadi baja tahan karat (Surdia, 1999).



Gambar 2.2 Diagram Fasa Fe-Cr (Sumber : Surdia, 1999)

Dari gambar 2.2 baja 18% Cr seharusnya mempunyai fasa α dimulai dari temperatur pembekuan sampai temperatur kamar, tetapi karena sebenarnya mengandung 0,03-0,10% dan 0,01-0,02%N, maka kira-kira di atas 930 °C terbentuk fasa γ . Oleh karena itu perlakuan panas untuk mendapat fasa α dilakukan dibawah 850 °C, baja ini dinamakan baja tahan karat ferit.

Struktur baja 18%Cr-8Ni adalah struktur dua fasa dari $\alpha + \gamma$ dalam keseimbangan, tetapi kenyataannya pada kira-kira 1050 °C seluruhnya menjadi austenit dan setelah pendinginan dalam air atau dalam udara fasa γ terbentuk pada temperatur kamar sukar bertransfortasi ke fasa α baja ini dinamakan baja tahan karat austenit. Fasa γ merupakan fasa metastabil, sebagai contoh kalau diadakan deformasi plastik bisa terjadi transformasi martensit. Kalau baja dipergunakan dalam bentuk austenit, maka perlu diadakan perlakuan panas untuk membentuk austenit tadi setelah dilakukan deformasi plastik, atau perlu dipakai baja yang mengandung lebih banyak Ni untuk memberikan kestabilan pada fasa austenit (Surdia, 1999). Untuk menentukan fasa dari Baja Tahan karat bisa dilihat pada gambar 2.3 berikut ini (Surdia, 1999).



Gambar 2.3 Diagram Schaeffler (Sumber : Surdia, 1999)

2.7 AISI 316

AISI tipe 316 *stainless steel* sebagai salah satu jenis *austenitic stainless steel* banyak digunakan dalam trim eksterior laut, peralatan industri sebagai pipa dan bahan tabung pemanas super dan merupakan bahan kandidat penting untuk komersial cepat reaktor peternak.

Stainless steel adalah baja (paduan berbasis besi) yang mengandung kromium kira-kira 10,5% berat (kadang-kadang diklasifikasikan mengandung kromium kurang dari 12 wt%). Dengan jumlah lebih dari jumlah kromium ini, *stainless steel* sangat tahan terhadap korosi dan oksidasi di lingkungan tertentu. Baja ini benar-benar disebut baja tahan korosi, atau *corrosionresistant steels* (CRES), seperti yang diminta pada beberapa gambar dan daftar material yang lebih lama. Sama seperti pelapis kromium memberikan perlindungan untuk baja, kromium dalam *stainless steel* memberikan ketahanan terhadap korosi. Kromium ini menyebabkan lapisan oksida kaya kromium "passive" terbentuk di permukaan baja. Ini adalah lapisan tak terlihat yang melekat pada permukaan baja. jika *stainless steel* tergores, oksidasi kromium oksida pasif di udara, sehingga melindungi baja dari korosi atau oksidasi (Tjokorda, 2017).

Stainless steel merupakan *steel alloy* dengan penambahan kromium yang membuat sifat bahan tersebut menjadi tahan terhadap karat. *Stainless steel* berdasarkan komposisinya, AISI (*American Iron & Steel Institute*) membagi *stainless steel* atas *martensitic*, *ferrisitic*, dan *austenititc stainless steel* yang dibedakan atas beberapa seri. *Stainless steel* 316 adalah salah satu varian *molybdenum alloy austenitic stainless steel* dengan komposisi rendah karbon yang digunakan di dalam berbagai industri dengan kebutuhan spesifikasi logam yang tahan terhadap korosi. Pada umumnya *stainless steel* jenis ini digunakan pada industri kimia dan petrokimia, instrumen industri pengolahan kertas, instrumen industri tekstil, instrumen industri makanan dan minuman, instrumen industri farmasi, instrumen medis, industri pipa air. Material tersebut memiliki komposisi

karbon rendah sehingga dapat meningkatkan ketahanan terhadap korosi sama halnya dengan kandungan *molybdenum* pada material tersebut. Pada gambar 2.4 berikut ini adalah contoh dari baja tahan karat austenitik 316.



Gambar 2.4 Baja *Stainless Steel* 316

2.8 *Mechanical Properties* dan Komposisi Unsur Kimia pada ASTM 249 tipe 316

Baja tipe 316 ini adalah baja tahan karat austenitik kromium-nikel yang mengandung *molybdenum*, yang merupakan baja yang memiliki ketahanan karat yang cukup baik, khususnya ketahanan terhadap korosi lubang yang biasanya terjadi akibat adanya kontaminasi dengan larutan klorida. Pada tabel dibawah ini kita dapat melihat *Mechanical Properties* dan komposisi unsur kimia *stainless steel* 316 (Lippold, 2005).

Tabel 2.1 *Mechanical Properties (Typical Room Temperature Properties)*

		0.2% YS	Elongasi	Hardness
	UTS	Ksi (Mpa)	% in 2"	Rockwell
	Ksi (MPa)		(50.8 mm)	
Type 316	81 (558)	42 (290)	50	B79
Type 316L		42 (290)	50	B79

(Sumber : Lippold, 2005)

Tabel 2.2 Komposisi kimia stainless steel 316

Composition	Type 316 %	Type 316L %
Carbon	0.08 max.	0.03 max.
Manganese	2.00 max.	2.00 max.
Phosphorus	0.045 max.	0.045 max.
Sulfur	0.030 max.	0.030 max.
Silicon	0.75 max.	0.75 max.
Chromium	16.00 – 18.00 max.	16.00 – 18.00 max.
Nickel	10.00 – 14.00 max	10.00 – 14.00 max
Molybdenum	2.00 – 3.00	2.00 – 3.00
Nitrogen	0.10 max.	0.10 max.
Iron	Balance	Balance

(Sumber : *Lippold*, 2005)

2.9 Pengertian Pengelasan

Lingkup penggunaan teknik pengelasan dalam konstruksi sangat luas, meliputi perkapalan, jembatan, rangka baja, bejana tekan, pipa pesat, pipa saluran, kendaraan rel dan lain sebagainya (Wiryosumarto, 2000).

Disamping untuk pembuatan, proses las dapat juga dipergunakan untuk reparasi misalnya untuk mengisi lubang-lubang pada coran, membuat lapisan keras pada perkakas, mempertebal bagian-bagian yang sudah aus dan macam-macam reparasi lainnya. Pengelasan bukan tujuan utama dari konstruksi, tetapi hanya merupakan sarana untuk mencapai ekonomi pembuatan yang lebih baik. Karena itu rancangan las dan cara pengelasan harus betul-betul memperhatikan kesesuaian antara sifat-sifat las dan kegunaan konstruksi serta keadaan sekitarnya.

Prosedur pengelasan kelihatannya sangat sederhana, tetapi sebenarnya didalamnya banyak masalah-masalah yang harus diatasi dimana pemecahannya

memerlukan bermacam-macam pengetahuan. Karena itu dalam pengelasan, pengetahuan harus turut serta mendampingi praktek. Secara lebih terperinci dapat dikatakan bahwa dalam perancangan konstruksi bangunan dan mesin dengan sambungan las, harus direncanakan pula tentang pengelasan, cara pemeriksaan, bahan las dan jenis las yang akan dipergunakan, berdasarkan fungsi dari bagian-bagian bangunan atau mesin yang dirancang (Wiryosumarto, 2000).

Definisi pengelasan menurut DIN (*Deutsche Industrie Normen*) adalah ikatan metalurgi pada sambungan logam atau logam paduan yang dilaksanakan dalam keadaan lumer atau cair. Dari definisi tersebut dapat dijabarkan lebih lanjut bahwa las adalah sambungan setempat dari beberapa batang logam dengan menggunakan energi panas, pada waktu ini telah digunakan lebih dari 40 jenis pengelasan termasuk pengelasan yang dilaksanakan dengan hanya menekan dua logam yang disambung sehingga terjadi ikatan antara atom-atom atau molekul-molekul dari logam yang disambungkan.

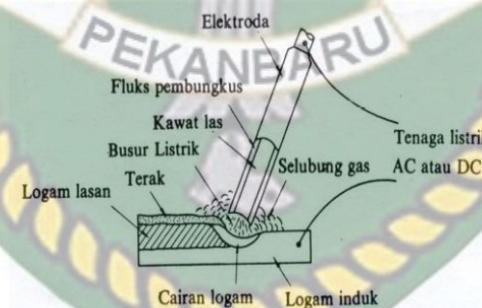
Mengelas menurut Alip (1989) adalah suatu aktifitas menyambung dua bagian benda atau lebih dengan cara memanaskan atau menekan atau gabungan dari keduanya sedemikian rupa sehingga menyatu seperti benda utuh. Penyambungan bisa dengan atau tanpa bahan tambah (*filler metal*) yang sama atau berbeda titik cair maupun strukturnya.

2.10 Proses pengelasan elektroda terbungkus (SMAW)

Las busur listrik adalah proses penyambungan logam dengan pemanfaatan tenaga listrik sebagai sumber panasnya. Menurut (Arifin, 1997) las busur listrik merupakan salah satu jenis las listrik dimana sumber pemanasan atau pelumeran

bahan yang disambung atau di las berasal dari busur nyala listrik. Las busur listrik dengan metode elektroda terbungkus adalah cara pengelasan yang banyak di gunakan pada masa ini, cara pengelasan ini menggunakan elektroda logam yang di bungkus dengan fluks. Las busur listrik terbentuk antara logam induk dan ujung elektroda, karena panas dari busur, maka logam induk dan ujung elektroda tersebut mencair dan kemudian membeku bersama.

Dalam pengelasan SMAW proses pengoperasian terdiri dari busur elektroda terbungkus dan logam induk. Busur ini ditimbulkan oleh adanya sentuhan singkat elektroda pada logam dan panas yang ditimbulkan oleh busur akan meleleh pada permukaan logam induk untuk membentuk logam lelehan, kemudian akan membeku bersama. Untuk lebih jelas mengenai pengelasan jenis SMAW bisa dilihat pada gambar 2.5.



Gambar 2.5 Las SMAW (Sumber : Wiryosumarto, 2000)

2.11 Arus pengelasan

Arus pengelasan adalah besarnya aliran atau arus listrik yang keluar dari mesin las. Besar kecilnya arus pengelasan dapat diatur dengan alat yang ada pada mesin las. Arus las harus disesuaikan dengan jenis bahan dan diameter elektroda yang di gunakan dalam pengelasan.

Penggunaan arus yang terlalu kecil akan mengakibatkan penembusan atau penetrasi las yang rendah, sedangkan arus yang terlalu besar akan mengakibatkan terbentuknya manik las yang terlalu lebar dan deformasi dalam pengelasan. Pada tabel 2.3 kita dapat melihat penggunaan arus yang di rekomendasikan untuk pengelasan *stainless steel* 316 dengan menggunakan elektroda.

Tabel 2.3 Parameter pengelasan (A) *stainless steel* 316

Ø (mm)	1F, 1G, 2F, 2G	3G Uphil, 4G
2.0	50-75	45-65
2.6	75-95	70-90
3.2	82-120	80-115
4.0	110-160	90-140
5.0	150-200	-

(Sumber : *Kobelco welding Handbooks*)

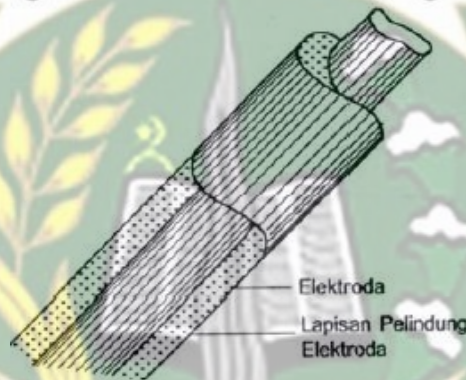
2.12 Elektroda

Pengelasan dengan menggunakan las busur listrik memerlukan kawat las (Elektroda) yang terdiri dari suatu inti terbuat dari suatu logam di lapisi oleh lapisan yang terbuat dari campuran zat kimia, selain berfungsi sebagai pembangkit, elektroda juga sebagai bahan tambah.

Elektroda terdiri dari dua jenis bagian yaitu bagian yang bersalut (fluks) dan tidak bersalut yang merupakan pangkal untuk menjepitkan tang las. Fungsi fluks atau lapisan elektroda dalam las adalah untuk melindungi logam cair dari lingkungan udara menghasilkan gas pelindung, menstabilkan busur, sumber unsur paduan.

Pada dasarnya bila di tinjau dari logam yang di las, kawat elektroda dibedakan menjadi elektroda untuk baja lunak, baja karbon tinggi, baja paduan, besi tuang, dan

logam non ferro. Bahan elektroda harus mempunyai kesamaan sifat dengan logam (Suharto, 1991). Pemilihan elektroda pada pengelasan baja karbon sedang dan baja karbon tinggi harus benar-benar diperhatikan apabila kekuatan las diharuskan sama dengan kekuatan material. Penggolongan elektroda diatur berdasarkan standar system AWS (*American Welding Society*) dan ASTM (*American Society Testing Material*). Pada gambar 2.6 kita dapat melihat bagian-bagian dari elektroda.



Gambar 2.6 Bagian Elektroda (Sumber : Wiryosumarto, 2000)

Penggolongan elektroda diatur berdasarkan standar system AWS (*American Welding Society*) dan ASTM (*American Society Testing Material*). Elektroda jenis A5.4 E316-16 dapat dipakai dalam segala posisi pengelasan dengan arus las AC ataupun DC. Elektroda dengan kode E316-16 untuk setiap huruf dan angka memiliki arti masing-masing yaitu :

- E = Elektroda untuk busur listrik
- 316 = Nomor tipe AISI dari *Stainless steel*
- 16 = Lapisannya mengandung TiO dan K2O

Adapun Komposisi dari elektroda E316-16 bisa di lihat pada tabel 2.4.

Tabel 2.4 Komposisi elektroda 316-16 (%)

Composition	Typical (Ac)	Guaranty
C	0.04	0.08
Si	0.35	1.00
Mn	1.5	0.5-2.5
P	0.03	0.04
S	<0.01	0.03
Ni	12.0	11.0-14.0
Cr	19.2	17.0-20.0
Mo	2.2	2.0-3.0
Cu	0.10	0.75

(Sumber : *Kobelco Welding Handbooks*)

2.13 Daerah Pengaruh Panas (HAZ)

Tiga daerah hasil pengelasan yang akan kita temui bila kita melakukan pengelasan daerah yang pertama yaitu logam las adalah daerah dimana terjadi pencairan logam dan dengan cepat kemudian membeku. Daerah yang kedua yaitu daerah logam induk yang mengalami perubahan struktur atau susunan dari logam akibat panas dari tindakan pengelasan. Daerah yang kedua ini sering disebut dengan *Heat Affected Zone* (HAZ). Daerah yang ke tiga adalah daerah logam itu sendiri yang tidak mengalami perubahan struktur.

Daerah HAZ merupakan daerah paling kritis dari sambungan las, karena selain berubah strukturnya juga terjadi perubahan sifat pada daerah ini. Secara umum struktur dan sifat daerah panas efektif di pengaruhi dari lamanya pendinginan dan komposisi dari logam induk itu sendiri. Pada gambar 2.7 bisa dilihat perbedaan daerah hasil lasan.



Gambar 2.7 Bagian Daerah hasil pengelasan (Sumber : Tjokorda, 2017)

2.14 Kampuh V

Kampuh las merupakan bagian dari logam induk yang akan diisi oleh logam las. Kampuh las awalnya adalah berupa kubungan las yang kemudian diisi dengan logam las. Kampuh V Tunggal banyak digunakan pada sistem sambungan pada pelat-pelat tebal. Untuk pengelasan dengan kampuh V tunggal dilakukan pengelasan pada satu sisi (*single side*) dengan urutan pengelasan mulai dari akar (*root*), pengisian (*Filler*), dan penutup (*caping*). Hasil penyambungan logam melalui pengelasan hendaknya menghasilkan sambungan yang berkualitas dari segi kekuatan dan lapisan las dari bahan atau logam yang dilas, di mana untuk menghasilkan sambungan las yang berkualitas hendaknya kedua ujung/bidang atau bagian logam yang akan dilas perlu di berikan suatu bentuk kampuh las tertentu.

Banyaknya lapisan untuk mengelas kampuh V ditentukan oleh tebalnya pelat. Sudut kemiringannya 60° . Pengelasan lapisan akar sebaiknya menggunakan 12 alas (landasan), supaya penembusan akarnya bebas, sehingga dengan demikian dapat menghasilkan pengelasan lapisan akar yang baik. Sambungan kampuh V dipergunakan untuk menyambung logam atau plat dengan ketebalan 6-15 mm. Sambungan ini terdiri dari sambungan kampuh V terbuka dan sambungan kampuh V

tertutup. Sambungan kampuh V terbuka dipergunakan untuk menyambung plat dengan ketebalan 6-15 mm dengan sudut kampuh antara 60° - 80° , jarak akar 2 mm, tinggi akar 1-2 mm (Sonawan, 2004). Untuk lebih jelas mengenai dimensi Kampuh V tunggal terbuka dapat dilihat pada gambar 2.8 berikut ini.



Gambar 2.8 Kampuh V (Sumber : Sonawan, 2004)

2.15 Pengelasan Baja Tahan Karat

Pengelasan dengan las elektroda terbungkus, las MIG dan las TIG adalah cara yang banyak digunakan dalam pengelasan baja tahan karat pada waktu ini. Disamping itu kadang-kadang digunakan juga las busur rendam, las sinar elektron dan las resistansi listrik. Karena baja tahan karat adalah baja paduan tinggi, maka jelas bahwa kualitas sambungan lasnya sangat dipengaruhi dan menjadi getas oleh panas atmosfer pengelasan (Wiryosumarto, 2000) .

2.15.1 Sifat mampu-las baja tahan karat

a. Baja tahan karat martensit

Baja ini dalam siklus pemanasan dan pendinginan selama proses pengelasan akan membentuk martensit yang keras dan getas sehingga sifat mampu-lasnya kurang baik. Dalam mengelas baja tahan karat jenis ini harus diperhatikan dua hal yaitu : pertama harus diberikan pemanasan mula sampai suhu antara 200 dan 400 °C dan suhu antara pengelasan lapisan harus ditahan jangan terlalu dingin dan

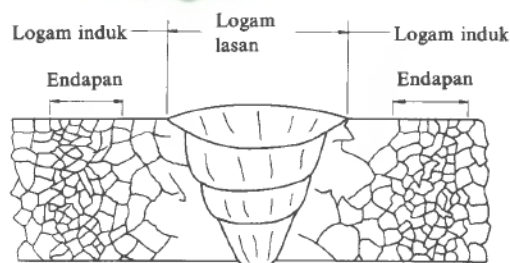
kedua segera setelah selesai pengelasan suhunya harus ditahan antara 700 sampai 800 °C untuk beberapa waktu.

b. Baja tahan karat jenis ferit

Baja tahan karat jenis ferit sangat sukar mengeras, tetapi butirnya mudah menjadi kasar yang menyebabkan ketangguhan dan keuletannya menurun. Penggetasan biasanya terjadi pada pendinginan lambat dari 600 °C ke 400 °C. Karena sifatnya ini maka pada pengelasan baja ini harus dilakukan pemanasan mula antara 70 sampai 100 °C untuk menghindari retak dingin dan pendinginan dari 600 °C ke 400 °C harus terjadi dengan cepat untuk menghindari penggetasan seperti diterangkan di atas.

c. Baja tahan karat jenis austenit

Baja tahan karat jenis ini mempunyai sifat mampu las yang lebih baik bila dibanding dengan kedua jenis yang lainnya. Tetapi walaupun demikian pada pendinginan lambat dari 680 °C ke 480 °C akan terbentuk karbid khrom yang mengendap diantara butir, Endapan ini terjadi pada suhu sekitar 650 °C dan menyebabkan penurunan sifat tahan karat dan sifat mekanis. Untuk lebih jelas mengenai sensititasi pada baja tahan karat dapat kita lihat pada gambar 2.9.



Gambar 2.9 Endapan Antar Butir Karbida Khrom dari Baja tahan karat austenitik
(Sumber : Wiryosumarto, 2000)

2.16 Sensititasi (korosi intergranular)

Sensititasi merupakan proses berlangsungnya proses presipitasi unsur karbon dan membentuk senyawa karbon karbida di batas butir baja *stainless steel* pada temperatur tinggi. Pemanasan pada temperatur sensititasi akan menyebabkan atom-atom C pada intersisi yang awalnya didalam grain atau butir akan bebas berdifusi dan cenderung menuju batas butir. Namun atom-atom Cr berbeda, pada posisi substitusi sangat susah untuk berdifusi bebas saat baja dioperasikan dalam temperatur tinggi. Atom-atom C di batas butir akan mengikat atom-atom Cr disekitarnya, akibatnya didaerah sekitar batas butir, kandungan Cr jadi berkurang. Kandungan Cr didekat batas butir akan turun hingga kurang lebih 2%.

Sensititasi adalah masalah yang sering terjadi terutama pada austenitik dan feritik *stainless steel*, bila karbida kromium (atau nitrida) mengendap batas butir. Pada austenitik, kromium ini berupa karbida saat *stainless steel* terkena suhu di kisaran 600-850 °C. Karena kromium telah menyebar ke karbida, ada didaerah kromium yang habis disekitar masing-masing karbida. Bila terkena lingkungan korosif, korosi intergranular kemungkinan akan terjadi pada batas butir, karena kandungan kromium di daerah kromium terkuras kurang dari 10,5 wt% yang diperlukan untuk baja tahan karat (Lippold, 2005). Untuk mengetahui lebih jelas tentang pembentukan kromium karbida pada batas butir bisa dilihat pada gambar 2.10.



Gambar 2.10 Sensititasi pembentukan Kromium Karbida pada Batas Butir
(Sumber: *Lippold*, 2005)

Ini adalah cacat hanya jika Stainless steel terkena korosif yang tepat lingkungan, seperti asam; Namun, beberapa Stainless steel peka telah "berkarat" atau teroksidasi saat hanya terpapar udara. Pengelasan pada stainless steels paling sering menghasilkan sensitisasi di zona yang terkena panas (HAZ), karena daerah ini berada dalam suhu sensitisasi rentang selama pemanasan, pengelasan, dan pendinginan (lihat Gambar 2.10). pengelasan yang peka dan sering terkena lingkungan korosif tunjukkan "gerobak roda" atau garis korosi paralel di sepanjang HAZ di kedua sisi las (biasanya disebut "serangan garis pisau").

2.16.1 Metode untuk menghindari sensititasi

Dibawah ini ada beberapa metode yang dapat dilakukan untuk mengurangi atau meminimalisir terjadinya sensititasi adalah sebagai berikut:

1. Gunakan logam dasar dan pengisi dengan kadar karbon serendah mungkin
(Nilai L seperti 306L dan 316L).

2. Gunakan logam dasar anil atau anil sebelum pengelasan, untuk menghilangkan pengerjaan dingin sebelumnya (Pengerjaan dingin mempercepat presipitasi karbida).
3. Gunakan logam dasar yang "distabilkan" dengan penambahan niobium (Nb) dan titanium (Ti). Unsur-unsur ini adalah pembentuk karbida yang lebih kuat daripada kromium dan dengan demikian mengikat karbon, meminimalkan pembentukan karbida batas butir yang kaya Cr.
4. Gunakan masukan panas las rendah dan suhu interpass rendah untuk meningkatkan laju pendinginan las, sehingga meminimalkan waktu dalam kisaran suhu sensitisasi.
5. Solusi perlakuan panas setelah pengelasan. Pemanasan struktur kemudian didinginkan dari suhu ini untuk mencegah pengendapan karbida selama pendinginan.

2.17 Media Pendingin

Struktur metalurgi akhir daerah *zonefussi* dan HAZ bisa diperkirakan dengan laju pendinginan dari *peak temperature* selama siklus pengelasan. Laju pendinginan ini mempengaruhi pengkasaran ataupun penghalusan struktur padat dan homogenitas struktur yang dihasilkan. Ketika transformasi termal terjadi pada baja, laju pendinginan mengindikasikan transformasi mana yang akan terjadi dan phase atau kandungan unsur mana yang akan dihasilkan. Hal ini mengarah pada *properties* pengelasan yang dihasilkan.

Setelah baja dilakukan pengelasan kemudian dilakukan pendinginan dengan media air, oli dan udara untuk struktur mikro yang diinginkan. Jenis media

pendingin biasanya dibedakan atas kekentalan atau viskositasnya, dimana kekentalan ini akan berpengaruh terhadap laju pendinginan dan laju pendinginan akan berpengaruh pada struktur mikro yang terbentuk.

2.17.1 Jenis-jenis Media Pendingin

1. Air Garam ($\rho = 1025 \text{ kg/m}^3$)

Laju pendinginan lebih cepat dari media pendingin yang lain. Hal ini disebabkan oleh karena massa jenisnya lebih besar dari media pendingin lain. Butiran kristal mampu menyerap dan menghasilkan martensit bersifat keras dan getas.

2. Air Biasa ($\rho = 998 \text{ kg/m}^3$)

Massa jenis air lebih rendah dari pada air garam sehingga laju pendinginannya lebih lambat dibandingkan dengan air garam. Hal ini disebabkan karena jarak antara atom-atom di dalam air lebih rapat dan menghasilkan struktur butiran yang lebih besar dari media pendingin air garam.

3. Oli ($\rho = 981 \text{ kg/m}^3$)

Laju pendinginan lebih lambat karena massa jenisnya lebih kecil dibandingkan dengan air dan air garam sehingga laju pendinginannya lebih lambat dibanding kedua media pendingin tersebut. Menghasilkan struktur butiran yang lebih besar dibandingkan media pendingin air.

4. Udara

Laju pendinginan yang paling lambat dari jenis media pendingin adalah udara karena memiliki massa jenis paling kecil. Dan struktur butiran yang dihasilkan akan lebih besar dari media pendingin oli.

2.17.2 Hal-hal yang mempengaruhi kecepatan pendinginan media pendingin

1. Viskositas

Viskositas merupakan kekentalan atau tingkat kekentalan yang dimiliki suatu fluida atau zat cair. Semakin tinggi angka viskositasnya, maka semakin lambat laju pendinginannya. Misalnya pada oli atau air garam, dimana air garam memiliki tingkat viskositas yang rendah, namun massa jenisnya tinggi sehingga laju pendinginan cepat dibandingkan oli yang memiliki tinggi sehingga laju pendinginan cepat dibandingkan dengan oli yang memiliki tingkat viskositas tinggi sehingga panas sulit menguap dengan cepat sehingga laju pendinginan lambat.

2. Densitas atau kerapatan (massa jenis)

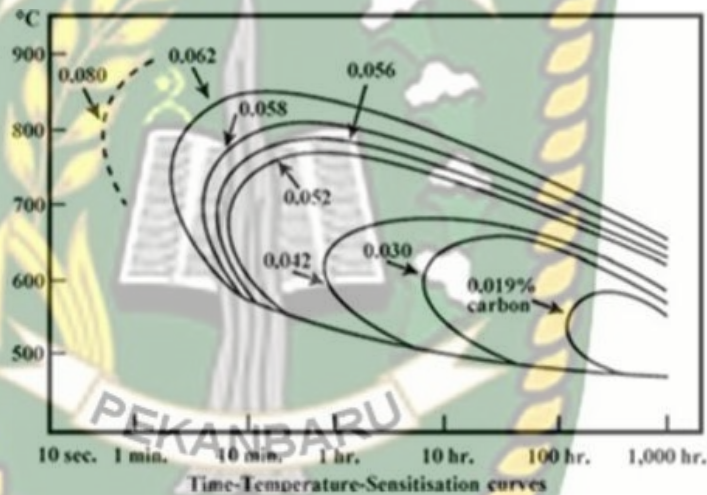
Densitas merupakan massa jenis yang dimiliki media pendingin (fluida). Semakin tinggi densitas yang dimiliki suatu media pendingin maka semakin cepat laju pendinginannya.

3. Temperatur

Semakin tinggi temperatur suatu bahan maka laju pendinginan juga semakin lambat, tetapi ini tergantung dari media pendingin yang digunakan, semakin rendah temperature yang dibutuhkan suatu bahan maka semakin cepat laju pendinginannya.

4. Waktu

Semakin cepat laju pendinginan maka waktu yang diperlukan semakin sedikit/singkat, begitu juga sebaliknya semakin lama laju pendinginan maka waktu yang dibutuhkan semakin banyak. Untuk mengetahui hubungan yang terjadi pada pendinginan terhadap terjadinya sensititasi (endapan karbida krom) pada baja tahan karat austenitik bisa dilihat pada gambar 2.11.



Gambar 2.11 Kurva *Time Temperature Sensitisation* (Sumber: Lippold, 2005)

2.18 Pengujian Tarik

Pengujian tarik dilakukan untuk mengetahui sifat-sifat mekanis suatu logam dan paduannya. Pengujian ini paling sering dilakukan karena merupakan dasar pengujian-pengujian dan studi mengenai kekuatan bahan. Hasil yang diperoleh dari proses pengujian tarik adalah kurva tegangan, regangan, parameter kekuatan, dan keliatan material pengujian dalam prosen, perpanjangan, kontraksi atau reduksi penampang patah (Djaprie, 1993)

Pada pengujian tarik beban diberikan secara kontinyu dan pelan-pelan bertambah besar, bersamaan dengan itu dilakukan pengamatan mengenai perpanjangan yang di alami benda uji. Kemudian dapat dihasilkan grafik tegangan dan regangan.

$$\sigma_u = \frac{P_u}{A_0} \dots\dots\dots(1)$$

Keterangan :

σ_u = Tegangan Tarik Maksimum (Mpa)

P_u = Beban Tarik (N)

A_0 = Luasan Awal Penampang (mm^2)

Regangan yang dipergunakan pada kurva diperoleh dengan cara membagi perpanjangan panjang ukur dengan panjang awal, persamaanya yaitu:

$$\varepsilon = \frac{L_f - L_0}{L_0} \dots\dots\dots(2)$$

Keterangan: ε = Regangan (%)

L_f = Panjang awal (mm)

L_0 = Panjang akhir (mm).

Apabila pembebanan tarik di lakukan secara terus menerus dengan menambahkan beban maka akan mengakibatkan perubahan bentuk pada benda uji yang berupa pertambahan panjang dan pengecilan. Bila diteruskan akan mengakibatkan kepatahan pada bahan.

Prosentase pengecilan yang terjadi pada daerah patahan dapat dinyatakan dengan rumus:

$$q = \frac{A_0 - A_1}{A_0} \times 100\% \dots\dots\dots(3)$$

Dimana: q = Reduksi penampang (%)

A_0 = Luas penampang mula-mula (mm^2)

A_1 = Luas penampang terkecil (mm^2)

Pembebanan tarik dilaksanakan dengan mesin pengujian tarik yang selama pengujian akan mencatat setiap kondisi bahan sampai terjadinya tegangan ultimate, juga sekaligus akan menggambarkan diagram tarik benda uji, adapun panjang L_f akan diketahui setelah benda uji patah dengan menggunakan pengukuran secara normal. Tegangan ultimate adalah tegangan tertinggi yang bekerja pada luas penampang semula. Diagram yang diperoleh dari uji tarik pada umumnya digambarkan sebagai diagram tegangan-regangan berikut ini.



Gambar 2.12 Kurva tegangan-regangan (Sumber : Wiryosumarto, 2000)

2.19 Pengujian Kekerasan Vickers

Pengujian kekerasan adalah suatu pengujian dari sekian banyak pengujian yang dipakai, karena dapat dilaksanakan pada benda uji yang relative kecil tanpa kesukaran mengenai spesifikasi benda uji. Pengujian yang banyak dipakai adalah

dengan cara menekan penekanan tertentu kepada benda uji dengan beban tertentu dan mengukur bekas hasil penekanan yang terbentuk diatasnya (Surdia dan Saito; 2000).

Salah satu pengujian yang standar untuk uji kekerasan adalah uji kekerasan Vickers. Keuntungan pengujian menggunakan cara Vickers adalah (1) Dengan benda dengan penekanan yang sama kekerasannya dapat ditentukan tidak hanya untuk bahan lunak akan tetapi juga untuk bahan keras; (2) Dengan bekas tekanan yang kecil bahan percobaan merusak lebih sedikit; (3) Pengukuran kekerasan teliti; (4) Kekerasan benda kerja tipis atau lapisan permukaan yang tipis dapat diukur dengan memilih gaya yang relative kecil.

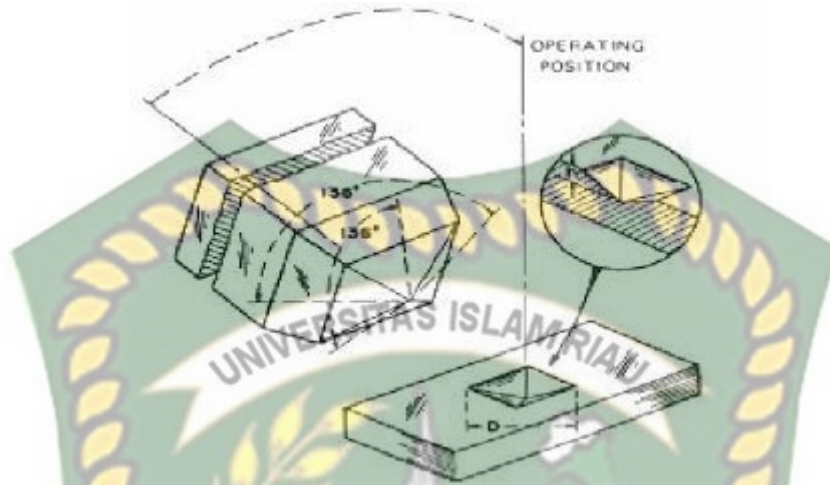
Pada pengujian ini mula-mula permukaan logam yang diuji ditekan dengan indenter berbentuk *pyramid* intan yang dasarnya berbentuk bujursangkar. Besaran sudut antara permukaan-permukaan piramida yang berhadapan adalah 136° angka kekerasan piramida intan atau angka kekerasan vickers VHN. Kekerasan Vickers merupakan angka kekuatan bahan uji terhadap pembebanan pada tiap luas penampang bidang yang menerima pembebanan. Pada gambar 2.13 bisa dilihat teknik dalam pengujian kekerasan Vickers. Nilai kekerasannya disebut dengan HV atau VHN (*Vickers Hardness Number*) yang besarnya:

$$\begin{aligned}
 VHN &= \frac{2 \sin \left[\frac{\theta}{2} \right] P_1}{d^2} = \frac{2 \sin \left[\frac{136^\circ}{2} \right]}{d^2} \\
 &= \frac{1,854 \cdot P}{d^2} \dots \dots \dots (4)
 \end{aligned}$$

Dimana : P = Beban tekan yang diberikan (kg)

d = Panjang diagonal bekas injakan (mm)

θ = Sudut puncak penetrator = 136°



Gambar 2.13 Teknik pengujian kekerasan (Sumber: *Calister*, 2007)

Uji kekerasan Vickers banyak dipakai dalam kegiatan riset, karena cara tersebut memberikan hasil berupa skala kekerasan yang kontinu untuk beban yang digunakan dalam penekanan antara 1 kg-120 kg.

2.20 Pengamatan Metalography

Sifat-sifat fisis dan mekanik dari material tergantung dari struktur mikro material tersebut. Struktur mikro dalam logam (paduan) di tunjukan dengan besar, bentuk dan orientasi butirnya, jumlah fasa, proporsi dan kelakuan dimana mereka tersusun atau terdistribusi. Struktur mikro dari paduan tergantung dari beberapa faktor seperti, elemen paduan, konsentrasi dan perlakuan panas yang diberikan. Pengujian struktur mikro atau mikrografi dilakukan dengan bantuan mikroskop dengan koefisien pembesaran dan metode kerja yang bervariasi.

Adapun beberapa tahap yang perlu dilakukan sebelum melakukan pengujian struktur mikro adalah:

- a. *Sectioning* (Pemotongan)

Pemotongan ini dipilih sesuai dengan bagian yang akan diamati struktur mikronya. Spesimen uji dipotong dengan ukuran seperlunya.

b. *Grinding* (Pengamplasan kasar)

Tahap ini untuk menghaluskan dan meratakan permukaan spesimen uji yang ditujukan untuk menghilangkan retak dan goresan. *Grinding* dilakukan secara bertahap dari ukuran yang paling kecil hingga besar.

c. *Polishing* (Pemolesan)

Tahap ini bertujuan untuk menghasilkan permukaan spesimen yang mengkilap, tidak boleh ada goresan. Pada tahap ini dilakukan dengan menggunakan kain yang telah olesi pasta alumina. Untuk mendapatkan hasil yang baik, maka perlu diperhatikan beberapa hal sebagai berikut:

Pemolesan : Dalam melakukan pemolesan sebaiknya dilakukan dengan satu arah agar tidak terjadi goresan. Pemolesan ini menggunakan kain yang diolesi autosol dan dalam melakukan pembersihan harus sampai bersih.

Penekanan : Dalam melakukan pengamplasan pada mesin amplas jangan terlalu menekan. Apabila terlalu menekan maka arah dan posisi pemolesan dapat berubah dan kemungkinan terjadi goresan-goresan yang tidak teratur

d. *Etching* (Pengetsaan)

Hasil dari proses pemolesan akan berupa permukaan yang mengkilap seperti cermin. Agar struktur terlihat jelas maka permukaan tersebut dietsa. Dalam pengetsaan jangan terlalu kuat karena akan terjadi kegosongan pada benda uji.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian dilaksanakan mulai bulan April 2019. Adapun tempat pelaksanaannya adalah sebagai berikut :

1. Pengujian tarik dilakukan di Laboratorium Quality Control Politeknik Kampar.
2. Pengujian kekerasan dilakukan di Laboratorium Pengujian Bahan Universitas Islam Riau.
3. Pengujian struktur mikro dilakukan di Laboratorium Material Teknik Universitas Islam Riau.

3.2 Alat dan Bahan

Peralatan dan bahan merupakan unsur utama dalam sebuah penelitian, dimana alat yang digunakan sebagai penunjang utama untuk mendapatkan hasil penelitian. Sedangkan bahan berguna sebagai bantuan untuk memperoleh hasil pengujian yang maksimal, adapun alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

3.2.1 Alat

Adapun Alat-alat yang digunakan pada proses penelitian ini adalah :

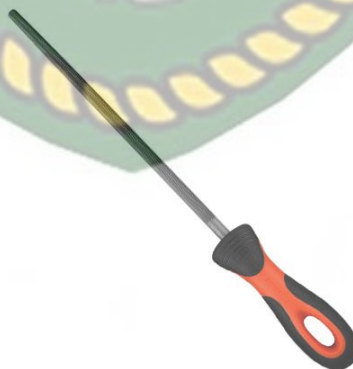
1. Mesin las listrik AC/DC



Gambar 3.1 Mesin Las AC/DC

2. Kikir

Kikir adalah alat perkakas tangan yang digunakan untuk pengikisan benda kerja. Kegunaan kikir pada pekerjaan penyayatan untuk meratakan dan menghaluskan suatu bidang, membuat rata dan menyiku antara bidang satu dengan bidang lainnya. Bentuk dari kikir yang digunakan pada penelitian ini bisa dilihat pada gambar 3.2.



Gambar 3.2 Kikir baja

3. Gerinda

Gerinda berfungsi untuk memotong material sesuai dengan ukuran yang diperlukan. Bentuk dari gerinda tangan yang digunakan pada penelitian ini bisak dilihat pada gambar 3.3 dan spesifikasinya sebagai berikut:

Jenis : Gerinda Tangan Daya Listrik : 580 Watt
Merk : Hitachi Kecepatan Tanpa Beban: 11.000 Rpm



Gambar 3.3 Gerinda Tangan

4. Sikat baja

Sikat baja merupakan perkakas yang digunakan untuk membersihkan area sekitar meja kerja, peralatan bengkel seperti kikir, dan benda las yang memiliki terak. Bentuk dari sikat baja bisa kita lihat pada gambar 3.4.

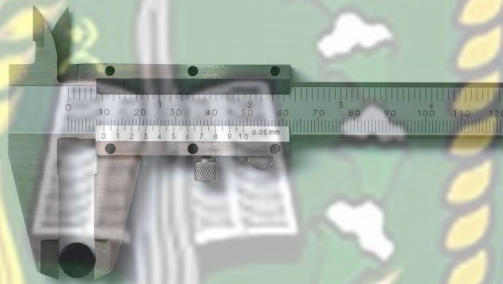


Gambar 3.4 Sikat baja

5. Alat ukur (Jangka Sorong)

Alat ukur ini digunakan untuk mengukur diameter, lebar dan panjang material pengujian. Bentuk dari alat ukur dapat kita lihat pada gambar 3.5 dan spesifikasi sebagai berikut:

Merek	: Mitutoyo	Akurasi	: +/- 0.05
Jenis Ukuran	: Metrik (mm) dan Inch	Made in	: Japan
Skala	: 0.05 mm atau 1/128"	Ukuran:	0 – 150 mm/0 – 6"



Gambar 3.5 Alat Ukur (Jangka Sorong)

6. Perlengkapan keselamatan (sarung tangan)

Sarung tangan digunakan pada saat pengelasan agar melindungi tangan terkena panas pada saat pengelasan dan setelah pengelasan. bentuk dari sarung tangan yang digunakan pada penelitian ini bisa dilihat pada gambar 3.6.



Gambar 3.6 Sarung tangan untuk pengelasan

7. Mesin Uji Tarik

Mesin uji tarik merupakan alat mekanis yang digunakan untuk mengetahui nilai kekuatan material terhadap gaya tarik. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui sifat mekanis dari material sebagai bahan uji. Hasil pengujian tarik di peroleh kekuatan tarik (*ultimate strenght*) dan kekuatan luluh (*yield strenght*) serta keliatan/keuletan bahan. Pada pengujian ini alat yang digunakan memiliki tipe HUNG TA HT -8503 seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.7. Pengujian tarik dilakukan di laboratorium Quality Control Politeknik Kampar.



Gambar 3.7 Mesin uji tarik HUNG TA HT -8503

8. Mesin uji kekerasan (*Vickers*)

Pengujian kekerasan *vickers* untuk mengetahui nilai kekerasan dari hasil pengelasan stainless steel 316 dengan variasi media pendingin air oli dan udara, pengujian ini menggunakan metode *vickers* (VHN). Pengujian ini menggunakan alat uji *Universal Hardness Tester* tipe DME-15-06004. Bentuk alat uji kekerasan bisa dilihat pada gambar 3.8. Pengujian

kekerasan *vickers* dilakukan di laboratorium Pengujian Bahan Universitas Riau dengan spesifikasi alat berikut.



Gambar 3.8 Mesin uji kekerasan

9. Mesin *Polishing* dan *Grinding*

Mesin pemoles berfungsi untuk meratakan dan mengaluskan permukaan spesimen serta proses pemolesan spesimen menggunakan pasta pemoles (pasta alumina). Penggunaan alat ini dilakukan di laboratorium Material Teknik Universitas Islam Riau dan bentuk dari mesin *Polishing* dan *Grinding* bisa dilihat pada gambar 3.9. Berikut ini spesifikasi dari mesin *Polishing* dan *Grinding*

Model : *PreciPolish series FTP-2M*

Jenis motor : *AC/550W-GP with Inverter*

Diameter piringan : 300 mm

Kecepatan Putaran : 0-450 rpm



Gambar 3.9 Mesin *Polishing* dan *Grinding*

10. Alat Pengamatan Mikro Struktur (Mikroskop)

Mikroskop merupakan alat yang digunakan untuk mengetahui bentuk, besar, orientasi butiran dan jumlah fasa yang ada dalam material. Pada penelitian ini menggunakan mikroskop optik usb tipe Olympus U-MSSP4 seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.10. Penggunaan alat ini dilakukan di laboratorium Material Teknik Universitas Islam Riau.



Gambar 3.10 Mikroskop Optik

3.2.2 Bahan

Adapun bahan yang digunakan pada proses penelitian ini adalah :

1. Plat dari jenis baja *Stainless steel* 316 dengan tebal ± 6 mm
2. Elektroda las yang digunakan AWS A.5.4. E316 - 16
3. Cairan Etsa dan Pasta Alumina digunakan untuk melakukan pengamatan metalografi.
4. Alkohol 96% digunakan untuk membersihkan spesimen sebelum dilakukan etsa.

3.3 Pelaksanaan Penelitian

a) Metode Pengelasan

Metode pengelasan yang digunakan dalam pembuatan spesimen adalah sebagai berikut :

1. Pengelasan dengan posisi datar.
2. Jenis elektroda yang digunakan E316 – 16.
3. Arus listrik yang digunakan sebesar 85 A.
4. Pendinginan dengan udara, air dan oli.
5. Kampuh yang digunakan adalah kampuh V dengan jarak antar spesimen 2 mm, dan sudut kampuh 60° .

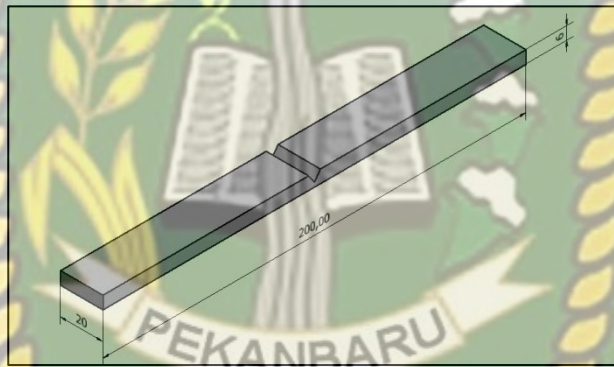
b) Pembuatan Spesimen

Pembuatan spesimen dalam pengujian ini melalui beberapa tahapan, hal ini dilakukan untuk mendapatkan hasil benda uji yang presisi dan hasil yang optimal dalam penelitian.

1. Proses Pembuatan Kampuh V

Langkah-langkah yang dilakukan dalam proses pembuatan kampuh V adalah :

1. Memasang material pada ragum, selanjutnya potong material dengan panjang 20 cm dan lebar 2 cm
2. Membuat kampuh V dengan sudut 60° ini berarti tiap ujung bahan di potong dengan kemiringan 30°
3. Setelah kampuh terbentuk potong material menjadi dua bagian



Gambar 3.11 Kampuh V

2. Proses Pengelasan

Langkah-langkah yang dilakukan dalam proses pengelasan adalah:

1. Mempersiapkan mesin las SMAW (AC/DC) sesuai dengan pemasangannya.
2. Menyetel *ampere meter* yang digunakan untuk mengukur arus pada posisi jarum angka nol, kemudian salah satu penjepitnya di jepitkan pada kabel yang digunakan untuk menjepit elektroda. Mesin las dihidupkan dan elektroda di gerakan pada masa sampai jarum pada ampere meter menunjuk angka 85 A.

3. Mempersiapkan benda kerja yang akan dilas pada meja las.
4. Posisi pengelasan dengan menggunakan posisi mendatar atau dibawah tangan.

3. Proses pendinginan pada pengelasan

1. Mempersiapkan wadah untuk media pendingin air dan oli dengan volume 2000 ml.
2. Mempersiapkan tang dan sarung tangan pengelasan untuk memasukkan spesimen yang baru selesai dilas kedalam wadah yang berisi media pendingin air dan oli.
3. Setelah spesimen selesai didinginkan keluarkan dari wadah media pendingin dan dibersihkan, selanjutnya akan di bentuk sesuai *standart* untuk pengujian tarik, kekerasan dan mikro.

4. Pembuatan bentuk spesimen menurut standar ASTM E8

Langkah-langkah yang dilakukuan dalam pembuatan spesimen adalah:

- a. Bahan yang telah dilakukan pengelasan selanjutnya di potong sehingga mendapatkan ukuran panjang 200 x 20 x 6 mm untuk uji tarik, 50 x 10 x 6 mm untuk uji kekerasan dan uji foto mikro.
- b. Membuat spesimen uji tarik sesuai dengan standar ASTM E8 dengan menggunakan gerinda tangan.
- c. Bahan yang sudah terbentuk diratakan dan dirapikan permukaannya dengan kikir selanjutnya diampelas.

3.4 Metode Pengujian Bahan

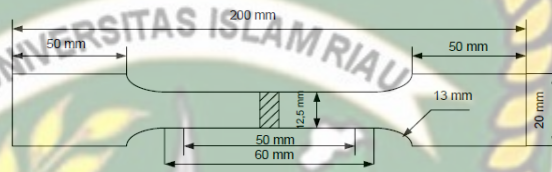
Metode yang dilakukan pada baja austenitik stainless steel 316 adalah sebagai berikut :

3.4.1 Uji Tarik

Pengujian ini dilakukan untuk mengukur ketahanan suatu material terhadap gaya statis yang diberikan secara lambat. Salah satu cara untuk mengetahui besaran sifat mekanik dari logam adalah dengan uji tarik. Sifat mekanik yang dapat diketahui adalah kekuatan dan elastisitas dari logam tersebut. Uji tarik banyak dilakukan untuk melengkapi informasi rancangan dasar kekuatan suatu bahan dan sebagai data pendukung bagi spesifikasi bahan. Nilai kekuatan dan elastisitas dari material uji dapat dilihat dari kurva uji tarik. Dalam pengujian tarik, batang uji dibebani dengan kenaikan beban sedikit demi sedikit sampai batang uji patah. Pengujian tarik ini dilakukan di Laboratorium Politeknik Kampar-Bangkinang. Dimana proses pengujian adalah sebagai berikut :

1. Mengukur diameter dan luas area spesimen
2. Memasukkan data spesimen yang telah diukur ke komputer
3. Menyalakan mesin uji tarik
4. Membuka kepala penjepit (*clamping head*) dan memposisikan spesimen
5. Menjepitkan spesimen kedalam kepala penjepit (*clamping head*)
6. Menyalakan mesin uji tarik
7. Lama penarikan sampai spesimen tersebut patah

8. Kurva penarikan akan tampil pada layar monitor tegangan dan regangan tarik
9. Mematikan mesin uji tarik
10. Melepaskan spesimen yang telah diuji dari penjepit (*clamping head*)
11. Lakukan pada spesimen berikutnya

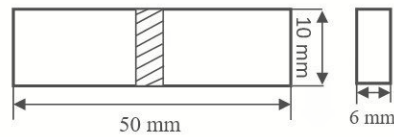


Gambar 3.12 Spesimen Uji Tarik ASTM E8

3.4.2 Uji kekerasan

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui nilai kekerasan material baja *stainless steel* 316 tersebut. Metode yang digunakan dalam uji kekerasan adalah *Micro Hardness Vickers* (HV). Alat pengujian kekerasan ini memakai indentor berbentuk piramid yang membuat jejak pada material dengan pembebanan tertentu. Pengujian ini dilakukan di Politeknik Manufaktur Bandung. Dimana proses pengujian adalah sebagai berikut :

1. Menyalakan mesin *micro vickers*
2. Meletakkan benda uji pada dudukannya
3. Mikroskop difokuskan melalui pengatur kasar
4. Penjejak atau diamond diarahkan pada posisi penjejakan
5. Indentor ditekan ke benda uji dengan beban 31,25 kgf
6. Tunggu penekanan sampai selesai
7. Bebaskan gaya dan lepaskan indentor dari benda uji
8. Ukur diagonal lekukan persegi menggunakan mikroskop pengukur

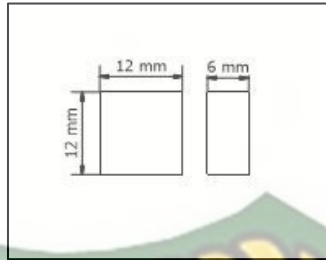


Gambar 3.13 Spesimen Uji Kekerasan ASTM E-92

3.4.3 Pengamatan *Metalography*

Untuk mengetahui struktur mikro yang terdapat dalam spesimen yang telah dilakukan pengelasan dan didinginkan dengan media pendingin air, oli dan udara, maka harus dilakukan pengamatan *Metalography* dengan menggunakan mikroskop. Proses pengamatan ini dilakukan dengan cara sebagai berikut :

1. Permukaan spesimen yang akan dilihat struktur mikronya diampelas hingga halus dengan menggunakan amplas yang sudah disediakan memakai mesin pemoles. Agar permukaan tidak terlihat bercak amplas maka permukaan spesimen dipoles menggunakan pasta alumina.
2. Kekasaran amplas adalah 180, 240, 400, 800, 1000, 1200, 1500, 2000
3. Permukaan yang telah dihaluskan dan dipoles kemudian di *etsa* menggunakan campuran cairan kimia yaitu : Ferric Chloride (FeCl_3) 45 gr, Copper Ammonium Chloride 9 gr, Hydrochlorid Acid 150 ml, Distilled water 75 ml.
4. Bagian yang telah di *etsa*, dilihat strukturnya menggunakan mikroskop dengan maksimal pembesaran 100x. Pada proses ini struktur mikro dari spesimen dilihat dan ditentukan.
5. Kemudian amati gambar struktur mikro yang muncul dilayar monitor.

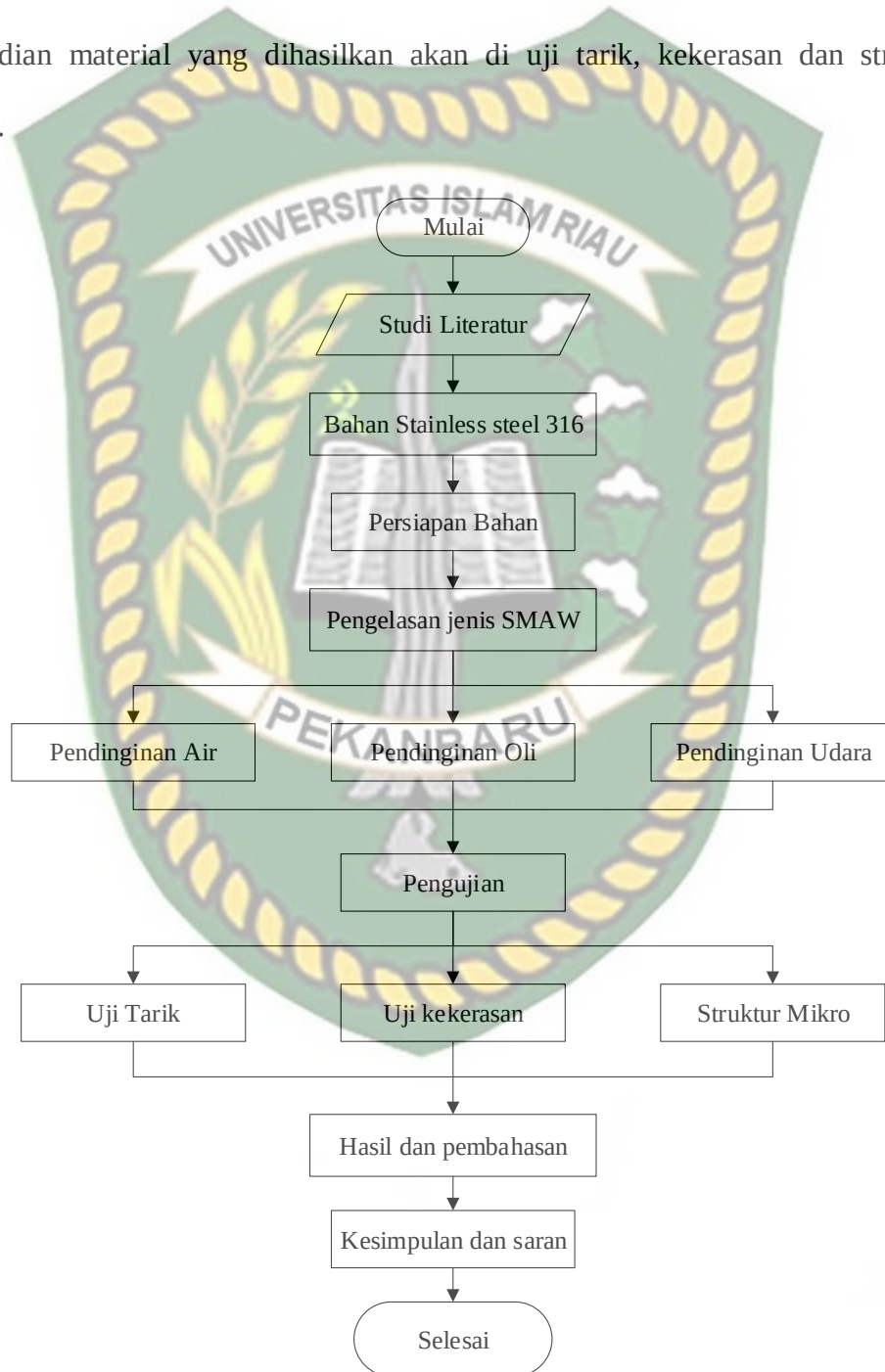


Gambar 3.14 Spesimen Pengamatan Mikro Struktur



3.5 Diagram Alir Penelitian

Pada penelitian ini, *stainless steel* 316 diberi variasi media pendinginan setelah pengelasan. Variasi media pendinginan menggunakan air, oli dan udara. Kemudian material yang dihasilkan akan di uji tarik, kekerasan dan struktur mikro.



BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Setelah dilakukan pengelasan pada material *stainless steel* 316 dan pendinginan dengan dalam tiga media berbeda yaitu masing-masing adalah air, oli dan udara, selanjutnya pada material dilakukan pengujian tarik, kekerasan dan pengamatan struktur mikro. Hasil pengujian dijelaskan pada bagian berikut.

4.1 Kekuatan tarik

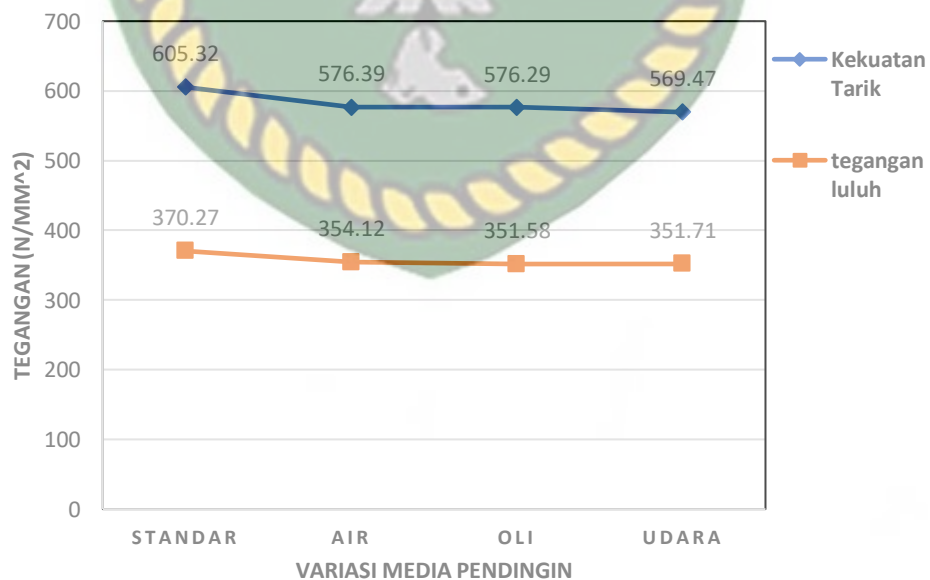
Pengujian tarik dilakukan menggunakan *universal testing machine* dengan merek HUNG TA HT-8503 di Politeknik kampar. Pengujian tarik dilakukan untuk mengetahui sifat mekanis dari material baja *stainless steel* 316 sebagai bahan uji dalam penelitian ini. Hasil pengujian tarik diperoleh kekuatan tarik (*ultimate strenght*) maupun kekuatan luluh (*yield strenght*). Keliatan/keuletan bahan yang ditunjukkan dengan presentase perpanjangan dan presentase kontraksi atau reduksi penampang (*reduction of area*).

Data pengujian diperoleh dalam empat variasi pengujian yaitu spesimen awal tanpa pengelasan, spesimen dilas dengan media pendingin udara, spesimen dilas dengan media pendingin air dan spesimen dilas dengan media pendingin oli bekas. Hasil pengujian tarik ini ditunjukkan dalam Tabel 4.1.

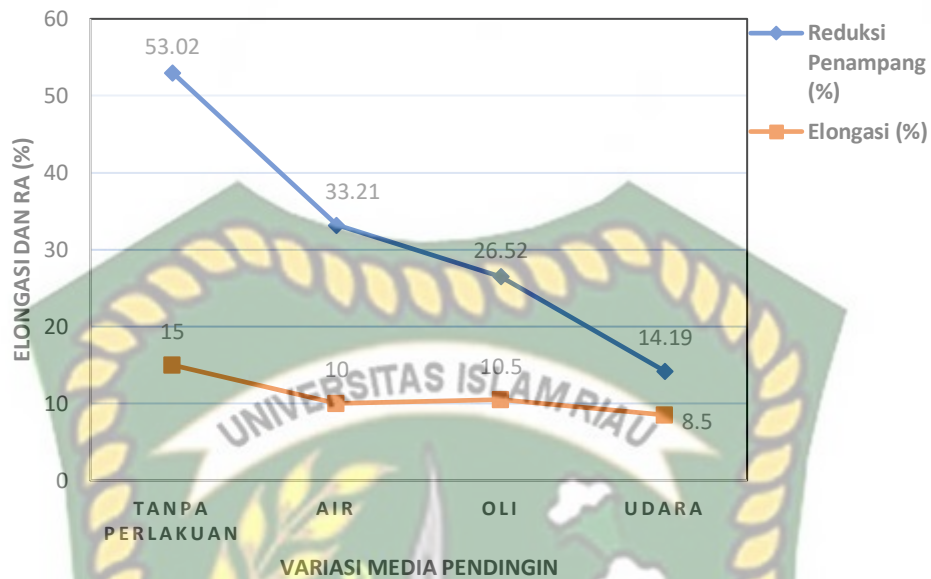
Tabel 4.1 Data Hasil Uji Tarik

Spesimen	Area (mm ²)	Max force (N)	0.2% Y.S (N/mm ²)	Tensile Strenght (N/mm ²)	Reduksi Penampang (%)	Elongation (%)
TANPA PENGELASAN	76.635	46389.1	370.27	605.32	53.02%	15%
LAS+PENDINGIN AIR	74.880	43160.0	354.12	576.39	33.21%	10%
LAS+PENDINGIN OLI	88.920	51244.1	351.58	576.29	26.52%	10.5%
LAS+PENDINGIN UDARA	74.588	42475.6	351.71	569.47	14.19%	8.5%

Pada gambar 4.1 dan gambar 4.2 berikut ini kita dapat melihat perbandingan kekuatan tarik dan kekuatan luluh serta perbandingan elongasi dan reduksi penampang material hasil pengelasan *stainless steel* 316 dengan media pendingin air, oli dan udara.



Gambar 4.1 Grafik perbandingan kekuatan tarik (σ_u) dan tegangan luluh (σ_y)



Gambar 4.2 Grafik perbandingan reduksi penampang (%) dan elongasi (%)

Berdasarkan hasil pengujian tarik yang dilakukan, patah yang terjadi pada benda uji rata-rata terjadi pada daerah lasan. Gambar 4.1 menunjukkan bahwa material tanpa pengelasan memiliki tegangan tarik sebesar 605,32 MPa dan tegangan luluh sebesar 370,27 MPa, ini merupakan nilai tertinggi dibandingkan dengan spesimen pengelasan dengan variasi media pendingin air, oli dan udara. Material hasil las didinginkan dalam media air memiliki tegangan tarik sebesar 576,39 MPa dan tegangan luluh 354,12 MPa, sedangkan pendinginan dengan media oli memiliki tegangan tarik sebesar 576,29 MPa dan tegangan luluh 351,58 MPa dan material yang didinginkan dengan udara memiliki tegangan tarik sebesar 569,47 MPa dan tegangan luluh 351,71 MPa.

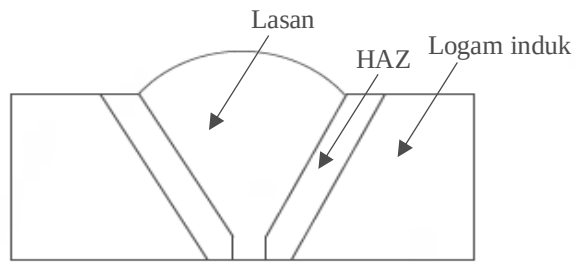
Pada gambar 4.2 menunjukkan bahwa material tanpa pengelasan presentase elongasi sebesar 15% dan reduksi penampang sebesar 53,02%, ini merupakan nilai tertinggi dibandingkan dengan spesimen pengelasan dengan variasi media

pendingin air, oli dan udara, pada media pendingin air elongasi sebesar 10% dan reduksi penampang 33,21%, sedangkan pendinginan dengan media pendingin oli memiliki elongasi sebesar 10,5% dan reduksi penampang 26,52% dan material yang didinginkan dengan pendingin udara memiliki elongasi sebesar 8,5% dan reduksi penampang sebesar 14,19%.

Secara umum, berdasarkan hasil uji tarik yang dilakukan untuk material tanpa pengelasan dan pengelasan dengan memvariasikan media pendingin, terjadi perubahan pada sifat mekanis baik tegangan tarik maupun tegangan luluh material. Pemanasan dan pendinginan selama pengelasan menyebabkan terjadi perubahan struktur mikro material. Hal ini akan dikonfirmasi pada bagian struktur mikro. Media pendingin berbeda menyebabkan penurunan tegangan tarik dan tegangan luluh juga tidak sama. Namun demikian media oli dan air tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan, tegangan luluh pada media air adalah 354,12 MPa sedangkan tegangan luluh media pendingin oli 351,58 MPa.

4.2 Kekerasan Material

Pengujian kekerasan dilakukan menggunakan metode *vickers*. Pengujian kekerasan dilakukan untuk mengetahui perbedaan nilai kekerasan pada *stainless steel* 316 keadaan awal dan yang telah dilakukan proses pengelasan dengan variasi media pendingin (air, oli dan udara). Pengujian kekerasan *vickers* dilakukan pada spesimen baja stainless steel 316 setelah dilas meliputi daerah las (*weld*), daerah HAZ (*Heat Affection Zone*) dan daerah induk (*base Metal*) seperti diperlihatkan pada gambar dibawah ini.



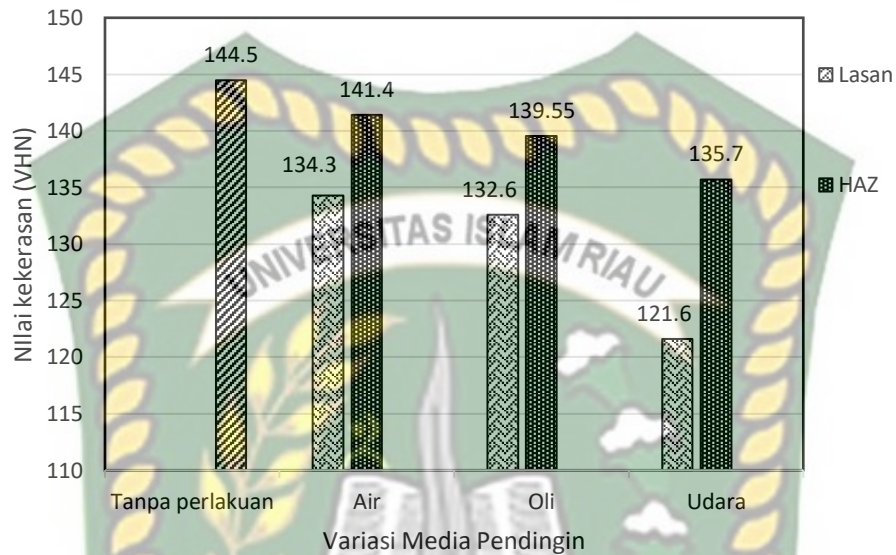
Gambar 4.3 Daerah titik pengujian kekerasan *Vickers*

Data hasil uji kekerasan diperlihatkan pada tabel 4.2

Tabel 4.2 Data hasil pengujian kekerasan *vickers*

NO	PARAMETER	KODE	HASIL PENGUJIAN			
			D1	D2	D avg	HV
1	Tanpa pengelasan		0.64	0.64	0.64	141.4
2			0.63	0.6	0.62	150.7
3			0.65	0.62	0.64	141.4
			Total rata-rata			144.5
1	Media Pendingin Air	Lasan	0.65	0.63	0.64	141.4
2			0.7	0.65	0.675	127.2
			Total rata-rata			134.3
3		Haz	0.63	0.63	0.63	145.9
4			0.65	0.65	0.65	137.1
			Total rata-rata			141.5
1	Media Pendingin Oli	Lasan	0.63	0.64	0.635	143.6
2			0.7	0.68	0.69	121.6
			Total rata-rata			132.6
3		Haz	0.7	0.7	0.7	118.2
4			0.6	0.6	0.6	160.9
			Total rata-rata			139.55
1	Media Pendingin Udara	Lasan	0.7	0.68	0.69	121.6
2			0.68	0.7	0.69	121.6
			Total rata-rata			121.6
3		Haz	0.69	0.7	0.695	118.3
4			0.62	0.6	0.615	153.1
			Total rata-rata			135.7

Adapun perbandingan nilai kekerasan pengelasan *stainless steel* 316 dengan variasi media pendingin air, oli dan udara dapat dilihat pada gambar 4.4.



Gambar 4.4 Grafik Perbandingan Nilai kekerasan Spesimen baja *stainless steel* 316

Nilai kekerasan material tanpa perlakuan baja *stainless steel* 316 pada semua titik memiliki nilai rata-rata sebesar 144,5 HV. Nilai kekerasan rata-rata pada daerah las dengan media pendingin air sebesar 134,3 HV, turun 10,2% dibandingkan nilai kekerasan material tanpa perlakuan sedangkan nilai kekerasan pada daerah HAZ sebesar 141,5 HV, turun 3% dibandingkan nilai kekerasan pada daerah induk sebesar 144,5 HV.

Nilai kekerasan pada daerah las media pendingin oli sebesar 132,6 HV, turun 11,9% dibandingkan nilai kekerasan spesimen tanpa perlakuan sedangkan nilai kekerasan pada daerah HAZ sebesar 139,55 HV turun 4,95% dibandingkan nilai kekerasan spesimen tanpa perlakuan. Sedangkan nilai kekerasan pada daerah induk sebesar 144,5 HV.

Nilai kekerasan pada daerah las media pendingin udara sebesar 121,6 HV, turun 22,9% dibandingkan spesimen tanpa perlakuan. Nilai kekerasan pada daerah HAZ sebesar 135,7 HV turun 8,8% dari spesimen tanpa perlakuan. Sedangkan nilai kekerasan pada daerah induk sebesar 144,5 HV.

Secara keseluruhan sama dengan pengaruh pengelasan pada kekuatan material, nilai kekerasan material hasil las juga menurun, dari ketiga media pendingin, media udara menunjukkan penurunan paling tinggi. Sebaliknya media air menunjukkan kekerasan paling baik dibanding oli dan udara.

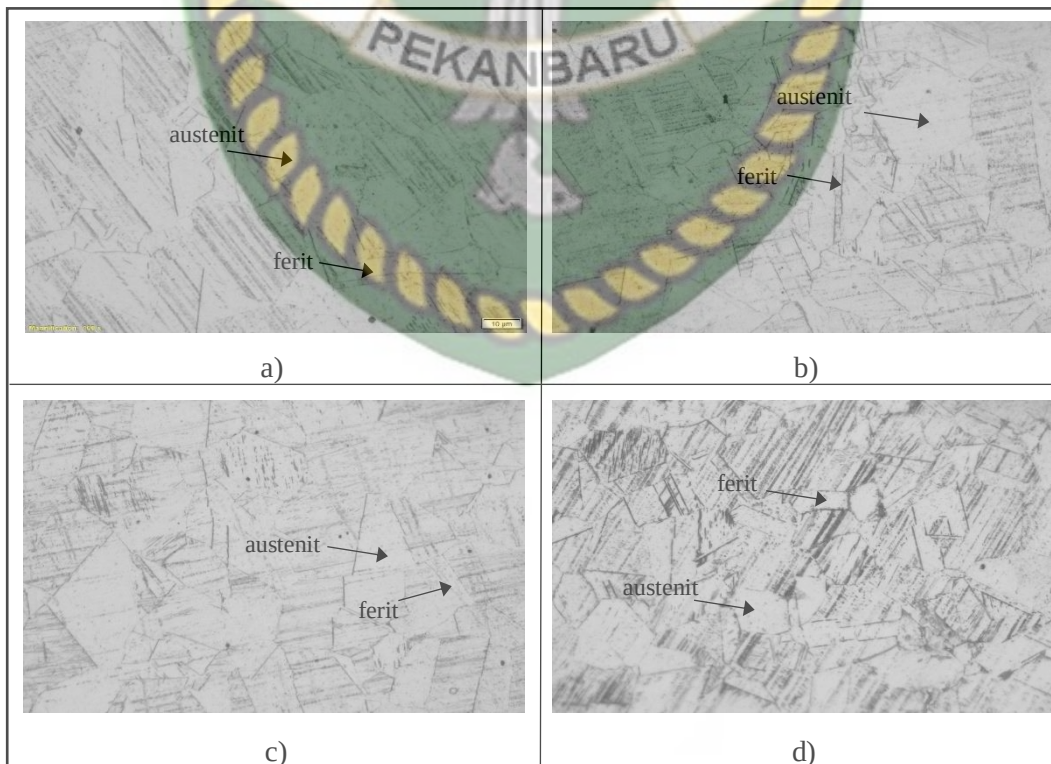
Dari analisis data diatas dapat disimpulkan bahwa spesimen dengan media pendingin air memiliki rata-rata nilai kekerasan yang lebih tinggi dibandingkan media pendingin yang lain. Sedangkan spesimen media pendingin udara memiliki rata-rata nilai kekerasan yang paling rendah dibandingkan media pendingin lain.

Berdasarkan hasil pengujian kekerasan pada *stainless steel* 316 dengan variasi media pendingin air, oli dan udara mendapatkan perbedaan nilai kekerasan pada daerah lasan dan HAZ akan tetapi media pendingin sesudah pengelasan tidak mempengaruhi material pada logam induk.

4.3 Pengamatan struktur mikro

Pengamatan yang dilakukan pada struktur mikro dilakukan dengan mengambil foto mikro pada material *stainless steel* 316 awal tanpa pengelasan dan untuk material yang dilas dengan variasi media pendingin air, oli dan udara pengamatan dilakukan pada daerah logam las, HAZ dan logam induk. Selanjutnya pada masing-masing foto mikro diamati struktur butir dan batas butir untuk mengetahui pengaruh media pendingin pada struktur mikro material.

Pengamatan foto mikro pada daerah lasan, HAZ dan logam Induk tidak terlihat adanya perubahan fasa, Namun demikian terdapat perbedaan besar butir dan kerapatannya tetapi perubahan ini tidak terlalu signifikan. Dibawah ini adalah foto mikro logam induk baja *stainless steel* 316 tanpa perlakuan dan pengelasan dengan media pendingin air, oli dan udara.



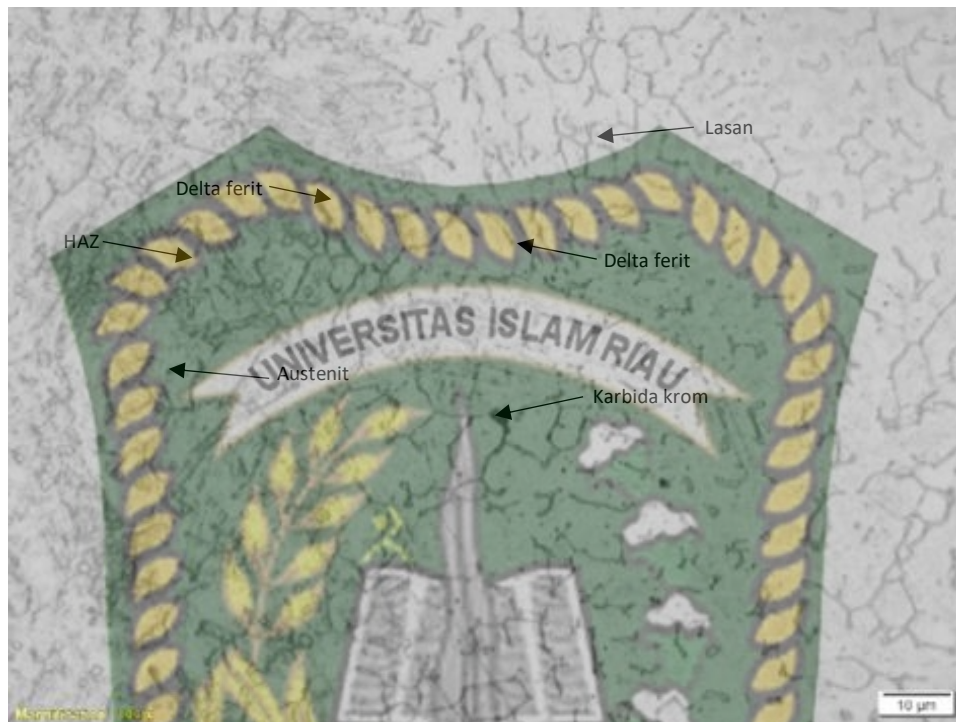
Gambar 4.5 a) Logam Induk material tanpa perlakuan; b) Logam induk media pendingin air; c) Logam induk media pendingin oli; d) Logam induk media pendingin udara

Pada gambar 4.5 logam induk (*base metal*) pada *stainless steel* 316 dapat dilihat struktur austenit (berwarna putih) dan delta ferit yang memanjang dengan butiran masih besar dan kasar.

Struktur mikro dari baja pada umumnya tergantung dari kecepatan pendinginannya. Karena dengan adanya perubahan struktur ini maka dengan sendirinya sifat mekanik yang dimiliki baja juga akan berubah. Untuk pendinginan oli laju pendinginan lebih lambat dari air dikarenakan karakteristik oli lebih kental daripada air, pendinginan sedikit lebih lambat dan karena itu ukuran butir lebih besar dibanding air. Udara adalah media pendingin paling lambat sehingga banyak waktu untuk membesarkan butir.

Tahap pembentukan butir dimulai dari nuklesi (pembentukan inti) diikuti pertumbuhan butir (pembentukan butir). Pada media air kecepatan pendinginan tinggi, akibatnya waktu untuk pertumbuhan butir tidak lama sehingga menyebabkan butir menjadi lebih halus. Berikut ini adalah gambar foto struktur mikro daerah lasan dan HAZ pengelasan *stainless steel* 316 dengan media pendingin air, oli dan udara bebas.

a) Struktur Mikro Baja *Stainless Steel* 316 Media Pendingin Air



Gambar 4.6 Daerah lasan dan HAZ dilas dengan media pendingin air

Gambar 4.6 menunjukkan struktur mikro pada daerah lasan adalah dominan delta ferit dan ada sedikit austenit. Pada daerah lasan struktur mikro tidak nampak keseluruhan dikarenakan pengaruh dari cairan etsa dan lama waktu pengetsaan, jika terlalu lama di etsa kemungkinan pada daerah lasan struktur mikro akan tampak jelas tetapi untuk daerah logam induk dan HAZ akan gosong dan tidak bisa dilakukan pengamatan pada daerah tersebut. Pada daerah HAZ struktur mikro dominan austenit dan ada sedikit delta ferit butir lebih halus dan batas butirnya lebih kecil serta endapan kromium karbida sedikit. Media air dapat mempercepat terbentuknya butir karena karakter air yang mudah larut sehingga menyebabkan spesimen cepat mengeras dan terjadinya difusi lebih cepat sehingga atom karbon

yang berada di batas butir tidak sempat mengikat atom-atom Cr disekitarnya sehingga endapan karbida yang terjadi sedikit.

b) Struktur Mikro Baja Stainless Steel 316 Media Pendingin Oli



Gambar 4.7 Daerah lasan dan HAZ dilas dengan media pendingin oli

Gambar 4.7 menunjukkan struktur mikro pada daerah HAZ dominan austenit dan di daerah lasan delta ferit banyak terbentuk, butir pada daerah HAZ lebih besar dari pendingin air dan batas butirnya kasar berwarna hitam (adanya endapan karbida Cr di batas butir) serta pada butirnya terdapat kontaminasi yang mempercepat lajunya korosi. Hal ini disebabkan karena karakter oli yang lebih kental daripada air sehingga lebih sulit larut. Laju pendinginan dan pengerasan spesimen lebih lambat sehingga menyebabkan terjadinya endapan karbida Cr banyak di batas butir.

c) Struktur Mikro Baja Stainless Steel 316 Media Pendingin Udara



Gambar 4.8 Daerah lasan dan HAZ dilas dengan media pendingin udara

Gambar 4.8 menunjukkan struktur mikro pada daerah HAZ adalah austenit dan dominan delta ferit, untuk media pendingin udara butir pada daerah HAZ besar dan batas butirnya kasar menunjukkan terjadinya endapan karbida krom pada batas butir. Hal ini disebabkan karena laju pendinginan dan pengerasan spesimen lebih lambat sehingga menyebabkan terjadinya endapan karbida cr banyak di batas butir.

Struktur mikro daerah HAZ (heat affected zone) merupakan daerah terkena panas dan mengalami perubahan besar butir pada struktur mikro tetapi tidak sampai terjadi peleburan. Besar butir austenit pada daerah HAZ tampak lebih kecil dibandingkan logam induknya.

Daerah nugget merupakan daerah logam las yang mengalami peleburan karena panas yang tinggi kemudian membeku kembali melalui pendinginan secara alami pada temperatur ruang dan bisa juga di percepat pendinginannya dengan cara di celup menggunakan air atau oli. Pada daerah nugget untuk media pendingin air butiran autenit lebih banyak dan lebih kecil dibandingkan pada logam induknya.

Berdasarkan hasil foto mikro daerah nugget, fasa yang terjadi adalah fasa austenit, dimana foto mikro daerah nugget hasil pengelasan mendekati dengan gambar foto logam las baja tahan karat austenit pada buku dengan judul “*Practical Guidelines For The Fabrication Of High Performance Austenitic Stainless Steel*”, IMOA (*International Molybdenum Association*), dapat dilihat pada gambar 4.9 berikut.



Gambar 4.9 Logam lasan Baja tahan Karat austenit (IMOA)

Berdasarkan hasil struktur mikro untuk *stainless steel* 316 daerah lasan dan HAZ variasi media pendingin air, oli dan udara struktur mikronya tidak terjadi perubahan struktur karena *stainless steel* 316 memiliki sifat austenitik serta tahan terhadap panas sehingga tidak terjadi perubahan fasa pada saat proses pengelasan. Namun pada saat proses pembekuan pada daerah lasan terjadi endapan delta ferit, walaupun sejumlah delta ferit selalu diharapkan dapat menghindari terjadinya peretakan panas pada saat pengelasan, pada pemakaian hasil lasan pada temperatur tinggi dalam waktu lama dapat menyebabkan pula keretakan panas. Hal ini disebabkan terjadinya penguraian delta ferit menjadi karbida cr. Sedangkan besar butir terjadi perubahan dan di batas butir terjadi endapan karbida cr yang berwarna hitam pekat pada daerah HAZ (*head affected zone*). karena pengaruh dari kecepatan pendinginan pada saat pengelasan dimana sesuai dengan teori tentang *stainless steel* 316 apabila di panaskan pada temperatur sensititasi (420-850 °C) akan terjadi endapan karbida cr di batas butirnya yang mempengaruhi sifat mekanis *stainless steel* 316.

Dari hasil pengamatan struktur mikro pada media pendingin air, oli dan udara memiliki besar butir, batas butir serta endapan karbida cr berbeda yang disebabkan oleh sifat alami dari ketiga media pendingin. Hasil pengamatan juga menunjukkan perbedaan butir dan batas butir daerah lasan hingga HAZ (*head affected zone*) ini dikarenakan dalam proses pengelasan daerah yang terkena masukan panas pengelasan mengalami proses pencairan logam, akan tetapi pada daerah HAZ dan logam induk mengalami proses perlakuan panas pada material.

Hasil penelitian struktur mikro membuktikan bahwa media pendingin sesudah pengelasan mempengaruhi struktur mikro pada *stainless steel* 316.

Pada proses pengelasan *stainless steel* 316 mode pembekuan yang terjadi terdiri atas dua fasa yaitu austenit primer-delta ferit dan delta ferit primer-austenit, fasa yang terjadi di pengaruhi oleh kecepatan pendinginan, semakin cepat pendinginan yang terjadi maka delta ferit yang terbentuk semakin sedikit dan dominan struktur yang terbentuk adalah austenit, sebaliknya apabila pendinginan lambat maka fasa yang terbentuk adalah delta ferit primer dan austenit, hal ini terjadi karena pemaksaan pembekuan tanpa melalui partisi. Artinya likuidus austenit akan lebih dahulu dicapai daripada likuidus delta ferit, besarnya kecepatan pembekuan akan mempengaruhi persaingan fasa yang akan membeku paling awal, hasil dari pengamatan pada daerah lasan sesuai dengan yang pernah di teliti oleh Vitek (1983) tentang pengelasan baja tahan karat austenitik yaitu komposisi kimia lasan jatuh pada mode pembekuan delta-ferit. Namun hal tersebut dapat benar bila pengelasan dilakukan dengan metode normal, pada pengelasan laser atau kondisi pendinginan sangat cepat (*splat welds quenching*) maka pembekuan delta-ferit primer berubah menjadi mode pembekuan austenit primer.

Pengaruh delta ferit pada pengelasan baja tahan karat yang bila lasan digunakan pada temperatur diantara 600 sampai 700 °C akan mengalami dekomposisi menjadi fasa sigma atau chi akan dapat dihindari, sehingga peretakan panas serta penurunan sifat mekanis pada lasan juga dapat dihindari. Tetapi perlu di perhatikan penggunaan lasan baja diatas temperatur 700 °C pada waktu lama akan meguraikan delta ferit menjadi karbida yang akan menyebabkan menurunnya sifat

mekanis lasan dan ketahanan terhadap korosi. Untuk itu penggunaan lasan baja tahan karat austenitik terbaik adalah di bawah temperatur sensititasi.

Media pendingin juga mempengaruhi cepat lambatnya terbentuknya butir dan endapan karbida Cr pada *stainless steel* 316. Media pendingin yang paling optimal dalam mengeraskan logam dan dapat meminimalisir endapan karbida Cr yang terjadi setelah pengelasan *stainless steel* 316 yaitu media air. Endapan karbida yang terjadi pada media air sedikit dibandingkan media pendingin lainnya, sehingga mampu mengeraskan logam lebih baik dan menghindari endapan karbida Cr lebih baik daripada media pendingin lainnya. Sedangkan media pendingin yang paling lambat mengeraskan logam setelah pengelasan yaitu media udara. Butir cenderung sedikit dan dibatasi butir terjadi endapan karbida Cr yang banyak.

Berdasarkan hasil pengujian diatas dapat disimpulkan bahwa proses pengelasan dengan variasi media pendingin pada *stainless steel* 316 pada pengamatan struktur mikro tidak terjadi perubahan fasa, hanya terjadi perubahan besar butir, batas butir dan perbedaan jumlah delta ferit serta endapan karbida Cr .

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian tentang pengaruh media pendingin sesudah pengelasan pada *stainless steel* 316 dengan metode pengelasan SMAW, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Struktur mikro pada material *stainless steel* 316 yang didinginkan dalam media air, oli dan udara adalah austenit dan delta ferit, namun demikian jumlah fasa delta ferit dalam udara lebih tinggi dibanding material yang didinginkan dalam oli dan air hal ini disebabkan karena kecepatan pendinginan mempengaruhi fasa apa yang terbentuk duluan austenit atau delta ferit.
2. Besar butir hasil pendinginan juga dipengaruhi media pendingin. Pendingin dalam air butir relatif halus dan batas butir lebih tipis. Sebaliknya material yang didinginkan di udara butir lebih kasar dan batas butir lebih tebal.
3. Nilai tegangan tarik dan tegangan luluh material yang didinginkan dalam media air, oli dan udara terjadi penurunan nilai kekuatan tarik dan kekuatan luluh. Namun untuk media pendingin air dan oli tidak terjadi penurunan yang signifikan berbeda dengan media pendingin udara yang mana nilai kekuatan tarik dan kekuatan luluhnya mengalami penurunan yang signifikan dari material induknya.
4. Nilai kekerasan material yang didinginkan dalam media air, oli dan udara di daerah lasan maupun HAZ terjadi penurunan nilai kekerasan dari material induk. Nilai kekerasan tertinggi untuk daerah lasan dan HAZ adalah pendingin

air dan terendah media pendingin udara ini dikarenakan pengaruh dari kecepatan pendinginan. pada pendingin air struktur mikronya lebih halus dan homogen sehingga menyebabkan nilai kekerasan tinggi.

5. Proses pembekuan pada pengelasan sangat mempengaruhi sifat mekanis dari sambungan logam, dimana akan terjadi perubahan ukuran pada struktur mikro disekitar daerah las dan HAZ akibat dari pemanasan pada pengelasan dan pendinginan yang tidak merata pada sekitar logam lasan, semakin halus dan homogen struktur mikro yang terjadi maka kekerasan akan meningkat.

5.2 Saran

Saran yang dapat diberikan sehubungan dengan penelitian tentang pengaruh media pendingin sesudah pengelasan ini adalah peneliti menyarankan kepada kalangan akademis, praktisi bahwa:

1. Supaya meminimalisirkan endapan karbida Cr maka disarankan untuk menggunakan media pendingin air sesudah pengelasan.
2. Baja tahan karat austenit akan mengalami distorsi bila terkena panas las dan daya hantar panasnya kecil, hal ini dapat dikurangi sebelum dilas benda diklem dengan tepat.
3. Untuk pengembangan lebih lanjut perlu kiranya dilakukan penelitian dengan SEM untuk melihat distribusi endapan karbida Cr .
4. Untuk proses pengelasan harus dilakukan oleh pewelder yang professional dan memiliki sertifikat.

DAFTAR PUSTAKA

- Alip, Mochamad. 1989. Teori dan Praktik Las. Jakarta. Departemen Pendidikan dan Kebudayaan.
- Amstead. 1997. Teknologi Mekanik. Erlangga. Jakarta. edisi ketujuh
- Arifin, Samsul. 1977. Las Listrik dan Otogen. Jakarta: Ghalia Indonesia.
- Callister, William D. 2007. *Material Science and Engineering 7th*. John Wiley & Sons, Inc. Kanada.
- Gde Tirta Nindha, Tjokorda. 2017. Material dan Proses *Stainless Steel*. Bahan Ajar. Bali :Program S1 Teknik Mesin.
- Ikhsan. 2017. Pengaruh Media pendingin Pada Proses Pendinginan Logam Las AISI 316 Terhadap Ketahanan Korosi. Jurnal Teknik Mesin. 1-5.
- IMOA, *Practical Guidelines for the fabrication of high performance Austenitic Stainless Steel*, London (www.imoa.info)
- Lippold, John C dan Damian J. Kotecki. 2005. *Welding Metalurgy And Weldability Of Stainless Steels*. Canada: John Willey & sons, Inc. All rights reserved
- Sonawan, H. dan Suratman, R. 2004. Pengantar Untuk Memahami Proses Pengelasan Logam. Bandung: Alfabeta.
- Sriati Djaprie, 1993. Metalurgi Mekanik Edisi ke 3, Terjemahan Dari *Mechanical Metallurgy, 3rd Edition*
- Sriati Djaprie, 2000. Metalurgi Fisik Modern dan Rekayasa Material Edisi ke 6, Terjemahan dari *Modern Physical Metallurgy dan Materials Engineering 6th*.
- Wirjosumarto, Harsono dan Toshie Okumura. 2000. Teknologi Pengelasan Logam. Jakarta : PT Pradnya Paramita. Edisi kedelapan