

**PENGARUH VARIASI JARAK PENEMBAKAN PADA PROSES  
SHOT PEENING TERHADAP KEKERASAN DAN LAJU KOROSI  
PIPA ASTM A 106 PADA SAMBUNGAN LAS SMAW**

**SKRIPSI**

**TEKNIK MESIN KONSENTRASI TEKNIK MANUFAKTUR**

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan  
memperoleh gelar Sarjana Teknik



**FERDIANSYAH PRIA NUGROHO**  
**NIM. 175060200111005**

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA**  
**FAKULTAS TEKNIK**  
**MALANG**  
**2021**



**LEMBAR PENGESAHAN**

**PENGARUH VARIASI JARAK PENEMBAKAN PADA PROSES  
SHOT PEENING TERHADAP KEKERASAN DAN LAJU KOROSI  
PIPA ASTM A 106 PADA SAMBUNGAN LAS SMAW**

**SKRIPSI**

**TEKNIK MESIN KONSENTRASI TEKNIK MANUFAKTUR**

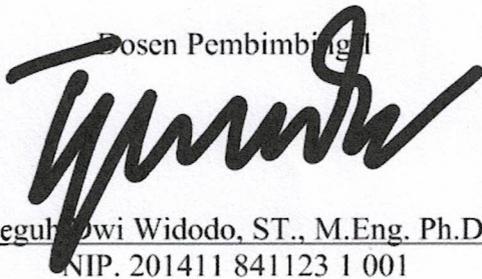
Ditujukan untuk memenuhi persyaratan  
memperoleh gelar Sarjana Teknik



**FERDIANSYAH PRIA NUGROHO**  
**NIM. 175060200111005**

Skripsi telah direvisi dan disetujui oleh Dosen Pembimbing pada  
Tanggal 24 Juli 2021

Dosen Pembimbing 1

  
Teguh Dwi Widodo, ST., M.Eng. Ph.D.  
NIP. 201411 841123 1 001

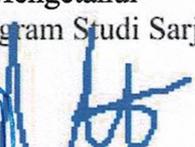
Dosen Pembimbing 2

  
Rudianto Raharjo, ST., MT.  
NIP. 19820225 201212 1 002

Mengetahui

Ketua Program Studi Sarjana,



  
Dr. Eng. Mega Nur Sasongko, ST., MT.  
NIP. 19740930 200012 1 001

## PERNYATAAN ORISINALITAS SKRIPSI

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya dan berdasarkan hasil penelusuran berbagai karya ilmiah, gagasan dan masalah ilmiah yang diteliti dan diulas di dalam Naskah Skripsi ini adalah asli dari pemikiran saya. Tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu Perguruan Tinggi, dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata di dalam naskah Skripsi ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur jiplakan, saya bersedia skripsi dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No. 20 Tahun 2003, pasal 25 ayat 2 dan pasal 70).

Malang, 24 Juli 2021

Mahasiswa,



Ferdiansyah Pria Nugroho

NIM. 175060200111005

# TURNITIN



**UNIVERSITAS BRAWIJAYA  
FAKULTAS TEKNIK  
PROGRAM SARJANA**



## SERTIFIKAT BEBAS PLAGIASI

Nomor : 779/UN10.F07.12.11/PP/2021

Sertifikat ini diberikan kepada :

**FERDIANSYAH PRIA NUGROHO**

Dengan Judul Skripsi :

**PENGARUH VARIASI JARAK PENEMBAKAN PADA PROSES SHOT PEENING  
TERHADAP KEKERASAN DAN LAJU KOROSI PIPA ASTM A 106 PADA SAMBUNGAN  
LAS SMAW**

Telah dideteksi tingkat plagiasinya dengan kriteria toleransi  $\leq 20\%$ , dan dinyatakan Bebas dari Plagiasi pada tanggal



Ketua Jurusan Teknik Mesin

Prof. DJAROT B. DARMADI, Ir.,MT.,Ph.D  
NIP. 19670518 199412 1 001

Malang, 26 Juli 2021

Ketua Program Studi S1 Teknik Mesin

MEGA NUR SASONGKO, ST.,MT.,Dr.Eng  
NIP. 19740930 200012 1 001



**JUDUL SKRIPSI:**

Pengaruh Variasi Jarak Penembakan Pada Proses *Shot Peening* Terhadap Kekerasan Dan Laju Korosi Pipa ASTM A 106 Pada Sambungan Las SMAW

Nama Mahasiswa : Ferdiansyah Pria Nugroho

NIM : 175060200111005

Program Studi : Teknik Mesin

Konsentrasi : Teknik Manufaktur

**KOMISI PEMBIMBING**

Dosen Pembimbing I : Teguh Dwi Widodo ST., M.Eng., Ph.D.

Dosen Pembimbing II : Rudianto Raharjo, ST., MT.

**TIM DOSEN PENGUJI**

Dosen Penguji I : Prof. Dr.Eng. Anindito Purnowidodo, ST., M.Eng.

Dosen Penguji II : Ir. Tjuk Oerbandono, M.Sc.CSE

Dosen Penguji III : Francisca Gayuh UD, ST., MT

Tanggal Ujian : 14 Juli 2021

SK Penguji : 1227/UN10.F07/SK/2021



## KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa atas segala limpahan rahmat dan hidayah-Nya, sehingga skripsi yang berjudul **“Pengaruh Variasi Jarak Penembakan Pada Proses Shot Peening Terhadap Kekerasan dan Laju Korosi Pipa ASTM A106 Pada Sambungan Las SMAW”** ini dapat terselesaikan dengan baik.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan dan penyelesaian skripsi ini telah dibantu oleh banyak pihak. Oleh sebab itu, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah mendukung dan membantu dalam menyelesaikan skripsi ini:

1. Bapak Prof. Ir. Djarot B. Darmadi, MT., Ph.D., selaku Ketua Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
2. Bapak Teguh Dwi Widodo, ST., M.Eng, Ph.D., selaku Sekretaris Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya dan Dosen Pembimbing I Skripsi yang telah memberikan bimbingan dan motivasi selama penyusunan skripsi ini.
3. Bapak Dr.Eng. Mega Nur Sasongko, ST., MT., selaku Kepala Program Studi S1 Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
4. Bapak Dr. Ir. Achmad As'ad Sonief, MT., selaku Ketua Kelompok Dasar Keahlian Teknik Manufaktur Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya
5. Bapak Rudianto Raharjo, ST., MT., selaku Dosen Pembimbing II Skripsi yang telah memberikan bimbingan dan motivasi selama penyusunan skripsi ini.
6. Bapak Iwan Tono dan Ibu Rohana selaku orang tua yang selalu mendukung, mendidik, memotivasi dan mendoakan saya hingga dewasa serta adik saya Ardiansyah Dwi Prasetyo
7. Keluarga seperjuangan yaitu Anwar Adhyaksanda Prawoto, dan Achirul Jamhar yang telah bekerja sama dan saling membantu dalam penyusunan skripsi ini.
8. Keluarga Asisten Laboratorium Proses Manufaktur 1 yaitu Gilang, Vicky, Alwan, Hans, Budut, Daffa, Fareng, Jack, Gani, dan Dina yang selalu memberi semangat, membantu, dan tempat bernaung serta selalu memberikan kehangatan layaknya keluarga.
9. Keluarga M'17 yang selalu memberi semangat, membantu, dan mendukung dalam segi apapun.
10. Semua pihak yang telah membantu terselesaikannya skripsi ini, yang tidak bisa penulis sebutkan satu-persatu.

Penulis menyadari bahwa laporan skripsi ini tidak lepas dari kekurangan. Oleh karena itu penulis sangat menghargai setiap saran dan masukan untuk kesempurnaan laporan proposal skripsi ini. Semoga laporan skripsi ini dapat bermanfaat bagi penulis dan pembaca sekaligus bisa menjadi bahan acuan penelitian selanjutnya.

Malang, Juni 2021

Penulis



# DAFTAR ISI

<b>KATA PENGANTAR</b> .....	1
<b>DAFTAR ISI</b> .....	iii
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	vii
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	ix
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	xiii
<b>RINGKASAN</b> .....	xv
<b>SUMMARY</b> .....	xvii
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	3
1.3 Batasan Masalah .....	3
1.4 Tujuan Penelitian .....	4
1.5 Manfaat Penelitian .....	4
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	5
2.1 Penelitian Sebelumnya .....	5
2.2 Proses Manufaktur .....	7
2.3 Proses Pengelasan ( <i>Welding Process</i> ) .....	8
2.3.1 Macam-Macam Las .....	9
2.3.2 Parameter Pengelasan SMAW .....	12
2.3.3 Posisi Pengelasan .....	14
2.4 <i>Carbon Steel</i> .....	17
2.4.1 ASTM A106 Grade B .....	18
2.5 Minyak Mentah ( <i>Crude Oil</i> ) .....	18
2.6 Kekerasan .....	19
2.6.1 Jenis – Jenis Uji Kekerasan .....	20
2.7 Korosi .....	21
2.7.1 Definisi Korosi .....	21
2.7.2 Klasifikasi Korosi .....	22
2.7.3 Faktor Yang Mempengaruhi Terjadinya Korosi .....	27
2.8 <i>Shot Peening</i> .....	28
2.9 Hipotesis .....	29



<b>BAB III METODE PENELITIAN</b> .....	31
3.1 Metode Penelitian .....	31
3.2 Tempat dan Waktu Penelitian .....	31
3.3 Variabel Penelitian .....	31
3.3.1 Variabel Bebas .....	31
3.3.2 Variabel Terikat .....	31
3.3.3 Variabel Terkontrol .....	32
3.4 Alat dan Bahan Penelitian .....	32
3.4.1 Alat .....	32
3.4.2 Bahan .....	38
3.5 Dimensi Spesimen .....	41
3.6 Skema Penelitian .....	42
3.6.1 Instalasi Proses <i>Shot Peening</i> .....	43
3.7 Prosedur Penelitian .....	44
3.8 Prosedur Pengujian Spesimen .....	45
3.9 Diagram Alir Penelitian .....	47
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN</b> .....	49
4.1 Data Hasil Pengujian .....	49
4.1.1 Data Hasil Pengujian Material Pipa ASTM A 106 grade B .....	49
4.2 Data Hasil Pengolahan Grafik Kekerasan Permukaan dan Laju Korosi .....	51
4.2.1 Grafik Persebaran Kekerasan Daerah Las .....	51
4.2.2 Analisis dan Pembahasan Grafik Persebaran Kekerasan Daerah Las .....	51
4.2.3 Grafik Pengaruh Variasi Jarak Penembakan pada Proses <i>Shot Peening</i> terhadap Kekerasan Sambungan las Pipa ASTM a106 grade B .....	52
4.2.4 Analisis dan Pembahasan Grafik Pengaruh Variasi Jarak Penembakan pada Proses <i>Shot Peening</i> terhadap Kekerasan Sambungan Las Pipa ASTM a106 grade B .....	53
4.2.5 Grafik Pengaruh Variasi Jarak Penembakan pada Proses <i>Shot Peening</i> terhadap Laju Korosi Sambungan Las Pipa ASTM a106 grade B .....	53
4.2.6 Analisis dan Pembahasan Grafik Pengaruh Variasi Jarak Penembakan pada Proses <i>Shot Peening</i> terhadap Laju Korosi Sambungan Las Pipa ASTM a106 grade B .....	54
4.3 Data Hasil Pengujian Mikrostruktur .....	55

4.3.1	Gambar Hasil Pengujian Mikrostruktur Pada Sambungan Las SMAW Pipa ASTM A 106 Grade B .....	55
4.3.2	Analisis Hasil Pengujian Mikrostruktur Pada Sambungan Las SMAW Pipa ASTM A 106 Grade B .....	55
4.4	Data Hasil Foto Makro Spesimen .....	56
4.4.1	Gambar Hasil Foto Makro Spesimen .....	56
4.4.2	Analisis Gambar Hasil Foto Makro Spesimen .....	57
4.5	Data Hasil Pengolahan Grafik Polarisasi dari Pengujian Laju Korosi Spesimen	58
4.5.1	Data Hasil Pengolahan Grafik Polarisasi Laju Korosi pada Proses <i>Shot Peening</i> dengan Variasi Jarak Penembakan .....	58
4.5.2	Analisis Grafik Polarisasi Laju Korosi pada Proses <i>Shot Peening</i> dengan Variasi Jarak Penembakan .....	59
4.6	Data Hasil Foto <i>Scanning Electron Microscope</i> (SEM) .....	59
4.6.1	Hasil Foto <i>Scanning Electron Microscope</i> Spesimen Proses <i>Shot Peening</i> dengan Variasi Jarak Penembakan .....	59
4.6.2	Analisis Hasil Foto <i>Scanning Electron Microscope</i> Spesimen Proses <i>Shot Peening</i> dengan Variasi Jarak Penembakan .....	61
<b>BAB V PENUTUP</b> .....		63
5.1	Kesimpulan .....	63
5.2	Saran .....	63
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>		
<b>LAMPIRAN</b>		





Halaman ini sengaja dikosongkan

**DAFTAR TABEL**

Tabel 3.1 Komposisi Kimia Material Pipa ASTM A106 *Grade B* ..... 38

Tabel 3.2 Uji Analisis Kandungan *Crude Oil* ..... 39

Tabel 3.3 Uji Analisis Kandungan Air *Crude Oil* ..... 39

Tabel 3.4 Komposisi Kimia Elektroda AWS E7016 ..... 40

Tabel 4.1 Data Hasil Pengujian Kekerasan pada Sambungan Las Pipa ASTM A 106 *Grade B* ..... 49

Tabel 4.2 Data Hasil Pengujian Kekerasan Setelah Proses *Shot Peening* ..... 50

Tabel 4.3 Hasil Pengujian Laju Korosi pada Sambungan Las Pipa ASTM A 106 *Grade* ..... 51

Tabel 4.4 Nilai Karakteristik dari Hasil Pengujian Laju Korosi Sambungan Las SMAW Pipa ASTM A106 *Grade B* ..... 58





Halaman ini sengaja dikosongkan

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Pengaruh Jarak Tembakan dan Sudut Tembakan <i>Peening</i> terhadap Kekerasan Permukaan 316L .....	6
Gambar 2.2	Klasifikasi Proses Manufaktur.....	7
Gambar 2.3	Klasifikasi Proses Penyambungan.....	8
Gambar 2.4	(a) Proses pengelasan gas <i>tungsten arc-welding</i> (GTAW). (b) Peralatan untuk operasi pengelasan gas <i>tungsten-arc welding</i> (GTAW) .....	9
Gambar 2.5	Dua tipe proses plasma <i>arc welding</i> ; (a) transfer, (b) non transfer.....	9
Gambar 2.6	Proses Pengelasan Las SMAW.....	10
Gambar 2.7	(a) Proses pengelasan gas <i>metal arc-welding</i> (GMAW). (b) Peralatan dasar yang digunakan pada proses pengelasan GMAW .....	11
Gambar 2.8	Pengaruh besar arus listrik ( <i>ampere</i> ), panjang busur, dan kecepatan pengelasan pada hasil lasan. (A) Besar <i>ampere</i> , panjang busur, dan kecepatan pengelasan yang sesuai; (B) <i>Ampere</i> rendah; (C) <i>Ampere</i> tinggi; (D) panjang busur pendek; (E) Panjang busur panjang; (F) Kecepatan pengelasan rendah; (G) kecepatan pengelasan tinggi .....	14
Gambar 2.9	Posisi dibawah tangan.....	15
Gambar 2.10	Posisi tegak (vertikal) .....	15
Gambar 2.11	Posisi mendatar (horizontal) .....	16
Gambar 2.12	Posisi diatas kepala ( <i>over head</i> ).....	16
Gambar 2.13	Posisi – posisi pengelasan pada pengelasan pipa .....	17
Gambar 2.14	Asal mula minyak .....	19
Gambar 2.15	Tabel Skala Kekerasan <i>Rockwell</i> . .....	20
Gambar 2.16	Bentuk Indentasi <i>Vickers</i> .....	21
Gambar 2.17	Proses Pengkorosian Logam.....	22
Gambar 2.18	<i>Uniform Corrosion</i> .....	22
Gambar 2.19	<i>Galvanic Corrosion</i> .....	23
Gambar 2.20	<i>Crevice Corrosion</i> .....	23
Gambar 2.21	Jenis jenis bentuk <i>pitting corrosion</i> .....	24
Gambar 2.22	<i>Pitting Corrosion</i> .....	24
Gambar 2.23	<i>Intergranular corrosion</i> .....	24
Gambar 2.24	<i>Errrosion Corrosion</i> .....	25
Gambar 2.25	<i>Fatigue Corrosion</i> .....	25

Gambar 2.26	Keterkaitan tiga kondisi yang menyebabkan SCC.....	26
Gambar 2.27	Contoh retak (a) Transgranular, (b) Intergranular.....	26
Gambar 2.28	Pengaruh temperatur terhadap laju korosi.....	27
Gambar 2.29	Pengaruh PH terhadap laju korosi.....	28
Gambar 2.30	Pengaruh kecepatan aliran terhadap Korosi.....	28
Gambar 2.31	Proses <i>Shot Peening</i> .....	29
Gambar 3.1	Mesin Las ESAB MIG <i>Fabricator 500P</i> .....	32
Gambar 3.2	Gerinda.....	33
Gambar 3.3	Kompresor.....	34
Gambar 3.4	<i>Spray Gun</i> .....	34
Gambar 3.5	<i>Stopwatch</i> .....	35
Gambar 3.6	<i>Microvickers EW-412AAT Hardness Testing Machine</i> .....	35
Gambar 3.7	<i>Scanning Electron Microscope (SEM)</i> .....	36
Gambar 3.8	<i>Digital Microscope</i> .....	36
Gambar 3.9	<i>Potentiostat/Galvanostat Instrument</i> .....	37
Gambar 3.10	Alat Uji Mikrostruktur.....	38
Gambar 3.11	Spesimen ASTM A106 <i>grade B</i> .....	38
Gambar 3.12	<i>Crude Oil</i> .....	39
Gambar 3.13	<i>Steel Ball</i> .....	40
Gambar 3.14	Elektroda AWS E7016.....	40
Gambar 3.15	Dimensi Spesimen Pengelasan.....	41
Gambar 3.16	Dimensi Spesimen Proses <i>Shot Peening</i> .....	41
Gambar 3.17	Dimensi Spesimen Uji Kekerasan dan Laju Korosi.....	41
Gambar 3.18	Skema Penelitian.....	42
Gambar 3.19	Instalasi Proses <i>Shot Peening</i> .....	43
Gambar 3.20	Diagram Alir Penelitian.....	48
Gambar 4.1	Titik – Titik Posisi Pengujian Kekerasan Daerah Las.....	49
Gambar 4.2	Titik – Titik Posisi Pengujian Kekerasan Setelah Proses <i>Shot Peening</i> .....	50
Gambar 4.3	Grafik Persebaran Kekerasan Daerah Las.....	51
Gambar 4.4	Grafik Pengaruh Variasi Jarak Penembakan pada Proses <i>Shot Peening</i> terhadap Kekerasan Sambungan Las Pipa ASTM a106 <i>grade B</i> .....	52
Gambar 4.5	Grafik Pengaruh Variasi Jarak Penembakan pada Proses <i>Shot Peening</i> terhadap Laju Korosi Sambungan Las Pipa ASTM a 106 <i>grade B</i> .....	54

Gambar 4.6 Hasil Pengujian Mikrostruktur Pada Sambungan Las SMAW Pipa ASTM A 106 Grade B, Daerah Las yaitu: a. *Weld Metal*, b. *Heat Affected Zone (HAZ)*, c. *Base Metal*..... 55

Gambar 4.7 Foto Makro Spesimen dengan Variasi Jarak Penembakan pada Proses *Shot Peening* Sebelum Dilakukan Pengujian Korosi..... 56

Gambar 4.8 Foto Makro Spesimen dengan Variasi Jarak Penembakan pada Proses *Shot Peening* Setelah Dilakukan Pengujian Korosi..... 57

Gambar 4.9 Grafik Polarisasi Korosi pada Proses *Shot Peening* dengan Variasi Jarak Penembakan..... 58

Gambar 4.10 Hasil Foto *Scanning Electron Microscope (SEM)* Spesimen dengan Variasi Jarak Penembakan pada Proses *Shot Peening* Setelah Dilakukan Pengujian Korosi..... 61





Halaman ini sengaja dikosongkan

**DAFTAR LAMPIRAN**

- Lampiran 1 Data Hasil Uji Kekerasan
- Lampiran 2 Hasil Analisa Plot Tafel dan Nilai *Corrosion Rate* Jarak Penembakan 6 cm
- Lampiran 3 Hasil Analisa Plot Tafel dan Nilai *Corrosion Rate* Jarak Penembakan 8 cm
- Lampiran 4 Hasil Analisa Plot Tafel dan Nilai *Corrosion Rate* Jarak Penembakan 10 cm
- Lampiran 5 Hasil Analisa Plot Tafel dan Nilai *Corrosion Rate* Jarak Penembakan 12 cm
- Lampiran 6 Hasil Analisa Plot Tafel dan Nilai *Corrosion Rate* Jarak Penembakan 14 cm
- Lampiran 7 Hasil Analisa Plot Tafel dan Nilai *Corrosion Rate Raw Material*
- Lampiran 8 Hasil Foto SEM Sesudah Uji Laju Korosi Variasi Jarak Penembakan 6 cm
- Lampiran 9 Hasil Foto SEM Sesudah Uji Laju Korosi Variasi Jarak Penembakan 8 cm
- Lampiran 10 Hasil Foto SEM Sesudah Uji Laju Korosi Variasi Jarak Penembakan 10 cm
- Lampiran 11 Hasil Foto SEM Sesudah Uji Laju Korosi Variasi Jarak Penembakan 12 cm
- Lampiran 12 Hasil Foto SEM Sesudah Uji Laju Korosi Variasi Jarak Penembakan 14 cm
- Lampiran 13 Hasil Foto SEM Sesudah Uji Laju Korosi *Raw Material*
- Lampiran 14 Hasil Foto Uji Mikro
- Lampiran 15 Hasil Analisis *Crude Oil*
- Lampiran 16 Hasil Analisis Air *Crude Oil*
- Lampiran 17 Sertifikat Material Pipa ASTM A 106 Grade B
- Lampiran 18 Sertifikat *Welder*
- Lampiran 19 *Welding Procedure Specification (WPS)*



Halaman ini sengaja dikosongkan

## RINGKASAN

**Ferdiansyah Pria Nugroho**, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Juni 2021, *Pengaruh Variasi Jarak Penembakan Pada Proses Shot Peening Terhadap Kekerasan Dan Laju Korosi Pipa ASTM A 106 Pada Sambungan Las SMAW*, Dosen Pembimbing: Teguh Dwi Widodo, ST., M.Eng. Ph.D., dan Rudianto Raharjo ST., MT.

Permintaan energi akan meningkat dari tahun ke tahun karena populasi dunia terus bertambah. *International Energy Agency* (IEA) sudah memperkirakan bahwa dalam 20 tahun ke depan, setidaknya kebutuhan energi dunia akan datang dari minyak bumi dan akan menjadi sumber energi yang dominan. Untuk mengalirkan minyak tersebut dibutuhkan sistem pemipaan untuk mengalirkan minyak ke kilang dan bisa dikonsumsi oleh masyarakat. Sistem pemipaan pada umumnya dipasang dan diperbaiki dengan proses pengelasan busur listrik seperti MIG / MAG, SMAW, TIG.

Namun demikian, masih terdapat kekurangan pada pengelasan yaitu munculnya tegangan sisa tarik dapat mengakibatkan kegagalan *premature* dan menyebabkan terjadinya *stress corrosion cracking*. Dimana jenis kegagalan seperti ini sering terjadi pada sambungan las pipa minyak ditambah dengan adanya fluida yang bersifat korosif yaitu *crude oil*. Tegangan sisa tarik disini muncul karena adanya siklus panas pada saat proses pengelasan. Oleh karena itu diberikan perlakuan *shot peening* untuk mengurangi tegangan sisa tarik. Proses *shot peening* yaitu proses pengerjaan dingin pada permukaan dimana dengan menembakkan bola bola kecil ke permukaan logam dengan menggunakan semburan udara yang terkompresi.

Pada penelitian kali ini menggunakan proses *shot peening* dengan variasi jarak penembakan yaitu 6 cm, 8 cm, 10 cm, 12 cm, dan 14 cm, dengan bola baja berdiameter 3 mm, lama waktu penembakan 10 menit dan tekanan 8 bar untuk mencari jarak penembakan yang optimal pada proses *shot peening* terhadap nilai kekerasan dan laju korosi pada sambungan las SMAW pipa ASTM A 106 grade B. Nilai kekerasan diambil dari permukaan dengan kedalaman 0,3 mm, 0,5 mm, dan 0,7 mm menggunakan *microvickers EW-412AAT* dan uji korosi menggunakan alat *potentiostat / galvanostat (PalmSens)* dengan *crude oil* sebagai larutan pengkororsinya. Pada penelitian ini foto makro dan foto SEM (*Scanning Electron Microscope*) digunakan sebagai data pendukung.

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa dengan rendahnya jarak penembakan pada proses *shot peening* maka nilai laju korosinya semakin rendah dan nilai kekerasannya semakin meningkat, sedangkan dengan jarak penembakan lebih tinggi didapatkan nilai laju korosi yang tinggi dan nilai kekerasan yang rendah. Hasil foto SEM dan makro dalam penelitian ini juga telah mendukung hasil penelitian terhadap pengujian laju korosi. Jarak penembakan pada proses shot peening yang optimal pada penelitian ini ialah jarak penembakan 6 cm, didapatkan nilai laju korosinya sebesar 0,090 mm/year dan nilai kekerasan tertinggi sebesar 341,8 HV.

**Kata Kunci:** *Shot Peening*, Kekerasan, Laju Korosi, ASTM A106 grade B



Halaman ini sengaja dikosongkan

## SUMMARY

**Ferdiansyah Pria Nugroho**, Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering Universitas Brawijaya, June 2021, *The effect of Shot Distance Variations on Shot Peening Process on Hardness and Corrosion Rate ASTM A 106 Pipe on SMAW Welding Joints*, Academic Advisor's: Teguh Dwi Widodo, ST., M.Eng. Ph.D., dan Rudianto Raharjo ST., MT.

Energy demand will increase from year to year as the world population continues to grow. The International Energy Agency (IEA) has predicted that in the next 20 years, at least the world's energy needs will come from petroleum and will become the dominant energy source. To drain the oil, a piping system is needed to drain the oil to the refinery and it can be consumed by the public. Piping systems are generally installed and repaired by electric arc welding processes such as MIG/MAG, SMAW, TIG.

However, there are still weaknesses in welding, namely the emergence of residual tensile stresses that can lead to premature failure and cause stress corrosion cracking. Where this type of failure often occurs in oil pipe welding connections coupled with the presence of a corrosive fluid, namely crude oil. The residual tensile stress here arises because of the heat cycle during the welding process. Therefore, shot peening was given to reduce the residual tensile stress. The shot peening process is a cold working process on a surface where by firing small balls onto a metal surface using a jet of compressed air.

In this research using the shot peening process with variations in shooting distances, namely 6 cm, 8 cm, 10 cm, 12 cm, and 14 cm, with a steel ball with a diameter of 3 mm, a shooting time of 10 minutes and a pressure of 8 bar to find a suitable shooting distance optimally in the shot peening process on the value of hardness and corrosion rate on SMAW weld joints of ASTM A 106 grade B pipes. Hardness values were taken from the surface with a depth of 0.3 mm, 0.5 mm, and 0.7 mm using microvickers EW-412AAT Corrosion test using a potentiostat / galvanostat (PalmSens) with crude oil as the corrosion solution. In this research, macro photos and SEM (Scanning Electron Microscope) photos were used as supporting data.

The results of this research show that with a lower shooting distance in the shot peening process, the corrosion rate value is lower and the hardness value is increasing, while with a higher firing distance, a high corrosion rate value and a low hardness value are obtained. The results of SEM and macro photos in this research have also supported the results of research on corrosion rate testing. The shooting distance in the optimal shot peening process in this research is a shooting distance of 6 cm, the corrosion rate value is 0.090 mm/year and the highest hardness value is 341.8 HV.

**Keywords:** Shot Peening, Hardness, Corrosion Rate, ASTM A106 grade B



Halaman ini sengaja dikosongkan

# BAB I PENDAHULUAN

## 1.1 Latar Belakang

Permintaan energi akan meningkat dari tahun ke tahun karena populasi dunia terus bertambah tercatat dalam beberapa dekade terakhir. *International Energy Agency* (IEA) masih memperkirakan bahwa dalam 20 tahun ke depan, setidaknya 80% kebutuhan energi dunia akan datang dari minyak bumi, gas alam, dan batu bara. Oleh karena itu, minyak akan tetap menjadi sumber energi yang dominan selama setengah abad mendatang. (Martínez-Palou et al., 2011) Minyak mentah diekstraksi dari reservoir dengan mengebor sumur, lalu memompa minyak ke atas sumur. Setelah itu minyak tersebut diangkut ke kilang di mana ia menjalani proses penyulingan yang rumit yang menghasilkan berbagai produk minyak bumi. Untuk mengangkut minyak mentah dari lokasi ekstraksi ke fasilitas penyimpanan atau kilang tempat penyimpanan atau pemrosesannya, serta untuk mengangkut produk olahan dari kilang ke fasilitas distribusi dimana tempat minyak tersebut dikonsumsi, sekitar 70% dialirkan melalui pipa. (Ibrahim et al., 2019)

Pipa dalam dunia industri sangat penting untuk transportasi fluida diantaranya dalam industri kimia, petrokimia, nuklir dan perminyakan. Dengan sistem pemipaan memiliki beberapa keunggulan kompetitif diantaranya pipa ramah lingkungan dan dianggap sebagai bentuk transportasi minyak yang paling hemat biaya dan paling hemat energi, yang menggunakan lebih sedikit bahan bakar dan memiliki tingkat jejak karbon yang lebih rendah. Dan juga efektif dalam mengalirkan minyak dengan jarak yang jauh di lepas pantai. (Ibrahim et al., 2019) Jenis pipa A 106 dari *American society for testing and materials standard (ASTM)* yang juga tercakup dalam *American society of mechanical engineers standard (ASME) of S/A 106* adalah pipa baja karbon dengan sifat mekanik yang sangat baik dan ketahanan termal yang sering dipakai dalam sistem pemipaan. (Yingsamphancharoen et al., 2016).

Sistem pemipaan pada umumnya dipasang dan diperbaiki dengan proses pengelasan busur listrik seperti MIG / MAG, SMAW, kawat tabung, TIG dan elektroda tertutup. Namun demikian, masih terdapat kekurangan informasi tentang perubahan mekanis / metalurgi yang disebabkan oleh siklus panas pengelasan, terutama tentang tegangan sisa. Siklus panas pengelasan mampu menghasilkan perubahan metalurgi yang tak terhitung banyaknya di zona las, zona fusi (FZ) dan di zona yang terpengaruh panas (HAZ), yang

repository.ub.ac.id

dapat menyebabkan efek berbahaya pada material. Di antara perubahan di wilayah pengelasan yang disebabkan oleh siklus panas muncul peningkatan tegangan sisa yang menonjol. (Silva et al., 2009) Tegangan sisa dalam pengelasan ada tegangan sisa tarik dan tegangan sisa tekan, dimana tegangan sisa tarik umumnya merugikan, tetapi tegangan sisa tekan dapat meningkatkan kinerja secara nyata. (Prevéy & Hornbach, 2015) Dengan adanya tegangan sisa ini dapat menyebabkan kegagalan prematur diantaranya *fatigue* dan *stress corrosion cracking* (SCC). Tegangan sisa dapat mengubah umur kelelahan dengan perubahan tingkat tegangan rata-rata, terutama pada permukaan pipa. Sedangkan *stress corrosion cracking* (SCC) terjadi di mana terdapat kombinasi mikrostruktur yang tidak menguntungkan, tegangan, dan lingkungan korosif. (Law et al., 2006) Mayoritas kegagalan mekanis dalam struktur teknik disebabkan oleh kelelahan. Ini sering terjadi dalam struktur lepas pantai dan laut ketika beban lingkungan sebagian besar bersifat siklik. Struktur lepas pantai digunakan untuk mengebor dan mengeksplorasi ladang minyak di wilayah lepas pantai. Struktur lepas pantai biasanya terbuat dari pipa dan sambungan tubular yang dihubungkan dengan pengelasan. (Habibi et al., 2012)

Jenis kegagalan *fatigue* dan *stress corrosion cracking* (SCC) ini yang sering dihadapi dalam sistem pemipaan. Tetapi *stress corrosion cracking* (SCC) telah menjadi salah satu masalah paling serius untuk produksi minyak bumi dan di kilang, di mana kehadiran H<sub>2</sub>S membuat cairan menjadi sangat korosif. (Silva et al., 2016) Metode korosif yang mengandung hidrogen sulfat (H<sub>2</sub>S) dianggap kritis untuk korosi tegangan atau melemahkan. Ini terjadi ketika hidrogen yang dihasilkan oleh proses korosif diserap ke dalam material, menyebabkan retakan di sepanjang arah laminasi, terlepas dari adanya tekanan. Jenis korosi *stress corrosion cracking* (SCC) ini juga salah satu masalah yang sering terjadi pada sambungan las dan salah satu masalah utama dengan jenis korosi ini yaitu dalam beberapa kasus terdapat hal yang benar-benar tidak terduga sama sekali, karena mekanisme kegagalan ini tidak menunjukkan kehilangan massa yang cukup besar melainkan nukleasi dan pertumbuhan retak. Kerusakan yang disebabkan oleh *stress corrosion cracking* (SCC) pada peralatan dan pipa cukup serius, dimana dalam beberapa kasus dapat menyebabkan kebakaran dan ledakan. (Silva et al., 2010)

Oleh karena itu dibutuhkan parameter / prosedur pengelasan yang benar harus dipilih untuk mencegah pembentukan cacat, serta untuk menghilangkan kemungkinan cacat yang ditimbulkan oleh pengelasan. (Silva et al., 2016) Selain itu untuk meningkatkan umur *fatigue* dari suatu komponen di dunia industri, berbagai cara dilakukan diantaranya perawatan permukaan yang telah dikembangkan dalam beberapa dekade terakhir. *Shot*

*peening* adalah salah satu perawatan permukaan mekanis paling efektif yang umumnya diterapkan untuk meningkatkan umur kelelahan dari suatu komponen. (Mahmoudi et al., 2016) *Shot peening* akan menghasilkan tegangan sisa tekan, mengubah kekasaran permukaan, dan merubah struktur ukuran butiran permukaan. Selain itu metode *shot peening* ini sangat diminati dan populer digunakan karena alat atau peralatan yang dipakai sangat murah dan mudah digunakan. Dengan metode ini juga dapat meningkatkan kekerasan dari materialnya karena terdapat tegangan sisa tekan yang dihasilkan sehingga mengurangi laju korosi yang ada yaitu *stress corrosion cracking* (SCC). (Lai et al., 2020) Proses *shot peening* yaitu proses pengerjaan dingin pada permukaan dimana dengan menembakkan bola-bola kecil ke permukaan logam dengan menggunakan semburan udara yang terkompresi. Dengan proses *shot peening* ini material akan mengalami lekukan lekukan dan akan terjadi tumpang tindih antar lekukan tersebut sehingga dihasilkan tegangan tekan yang seragam pada permukaan logam. (Peltz et al., 2015) Adapun salah satu parameter yang dapat dikontrol pada proses *shot peening* yang paling dominan berpengaruh yaitu jarak penembakan *shot peening* karena dengan variasi jarak penembakan dapat mengubah struktur mikro permukaan material, meningkatkan kekerasan dan ketahanan terhadap korosi. (Mahagaonkar et al., 2008)

Dalam hal ini penulis ingin mengetahui bagaimana pengaruh variasi jarak penembakan pada proses *shot peening* terhadap kekerasan dan laju korosi sambungan las pipa ASTM A106 grade B

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan penjelasan latar belakang penulisan, maka rumusan masalah dari penelitian ini adalah bagaimana pengaruh variasi jarak penembakan pada proses *shot peening* terhadap kekerasan dan laju korosi pipa ASTM A106 pada sambungan las SMAW.

## 1.3 Batasan Masalah

Agar penelitian ini lebih terarah, penulis memberikan batasan-batasan masalah diantaranya:

1. Mesin las SMAW yang digunakan dalam kondisi tegangan listrik yang stabil.
2. Perubahan nilai temperatur yang terjadi pada saat proses pengelasan tidak diperhitungkan.
3. Parameter pengelasan yang digunakan mengacu pada WPS yang sesuai.

4. Spesimen yang digunakan sebagai material uji dalam kondisi yang baik.
5. Parameter lain yang tidak menjadi variabel bebas, variabel terikat dan variabel terkontrol diabaikan.

#### 1.4 Tujuan Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan dengan tujuan untuk mendapatkan variasi jarak penembakan yang optimal pada proses *shot peening* terhadap kekerasan dan laju korosi pipa ASTM A106 pada sambungan las SMAW.

#### 1.5 Manfaat Penelitian

1. Memberikan sebuah pemahaman dan gambaran di bidang manufaktur tentang pengaruh variasi jarak penembakan pada proses *shot peening* terhadap kekerasan dan laju korosi sambungan las SMAW material ASTM A106.
2. Dapat digunakan sebagai acuan terkait penggunaan proses *shot peening* pada sambungan las pipa di bidang industri manufaktur.
3. Menjadi referensi untuk pengembangan penelitian-penelitian terkait *shot peening*, pengelasan dan korosi selanjutnya.

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Penelitian Sebelumnya

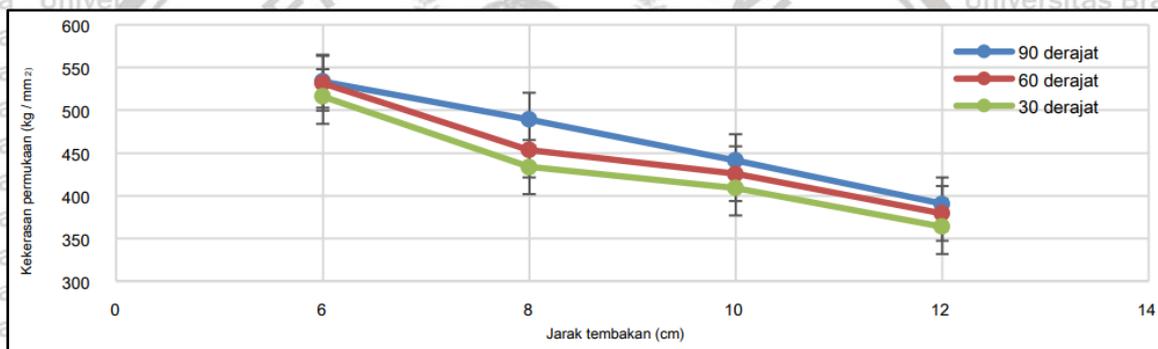
Ranjarnodeh *et al.* (2011) telah melakukan penelitian terkait dengan pengaruh parameter pengelasan terhadap tegangan sisa pada sambungan las. Tegangan sisa dapat ditimbulkan karena distribusi suhu yang tidak seragam dan gradien suhu yang parah, ini menyebabkan *brittle fracture*, mengurangi umur *fatigue*, serta dapat menyebabkan *stress corrosion cracking*. Tegangan dan regangan sisa pengelasan dipengaruhi oleh banyak faktor diantaranya sifat fisik dan mekanik dari logam dasar, geometri pengelasan, *heat input*, dan *welding sequence*. Choi dan Mazumder menyelidiki solidifikasi dan tegangan sisa dalam proses pengelasan GMAW. Mereka menemukan bahwa tegangan sisa pengelasan meningkat dengan meningkatnya kecepatan pengelasan dan *heat input* mempengaruhi nilai dan distribusi tegangan sisa dalam spesimen.

Silva *et al.* (2016) melakukan penelitian tentang tegangan sisa, struktur mikro dan kekerasan pada pengelasan pipa baja karbon. Dari hasil percobaan telah dievaluasi tegangan sisa tertinggi terdapat pada daerah logam las dan *Heat affected zone* (HAZ). Tingkat tegangan sisa tarik yang lebih tinggi juga terjadi di permukaan internal di seluruh wilayah manik las dan di HAZ. Tingkat tegangan sisa tarik yang tinggi di zona las dapat mewakili kondisi kritis, karena ketika permukaan bagian dalam bersentuhan dengan fluida korosif ( $H_2S$ ), masalah retak korosi tegangan dapat terjadi. Standar internasional dan kode perakitan dan perbaikan pipa mengaitkan kekerasan WM (*weld metal*) dan HAZ (*heat affected zone*) dengan kemungkinan terjadinya kegagalan SCC. Dan Mereka telah menetapkan bahwa tingkat kekerasan sambungan las berada di bawah batas kritis untuk SCC yaitu 248 atau 250 HV.

Ling *et al.*, (2008) melakukan penelitian tentang pengaruh *shot peening* terhadap *stress corrosion cracking* pada sambungan las *stainless steel*. Dari penelitian ini didapatkan kesimpulan bahwa tegangan sisa muncul akibat adanya proses pengelasan dimana tegangan sisa tarik tertinggi berada di daerah sambungan las. Tegangan sisa tarik ini merupakan faktor penting yang menyebabkan terjadinya SCC. Dengan adanya proses shot peening dapat menyebabkan tegangan tekan sisa pada permukaan las, dimana semakin tinggi cakupan *peening* maka tegangan sisa tekan semakin tinggi di permukaan benda uji.

Sehingga dengan adanya proses *shot peening* ini dapat meningkatkan ketahanan *stress corrosion cracking* dari sambungan las baja tahan karat.

Kondi Maliwemu et al., (2018) melakukan penelitian pengaruh jarak tembakan dan sudut tembakan *shot peening* terhadap kekerasan permukaan biomaterial 316L. Pada proses *shot peening* ini menggunakan variasi jarak penembakan 6, 8, 10, dan 12 cm, dan sudut bidikan 30, 60, dan 90 derajat. Jarak tembakan dan sudut tembakan *shot peening* memberikan efek peningkatan kekerasan mikro pada permukaan spesimen. Semakin jauh jarak tembakan menyebabkan semakin rendah intensitas tembakan karena jarak bola baja yang dibutuhkan untuk mencapai permukaan spesimen semakin jauh dan semakin kecil sudut tembakan maka kekerasannya semakin berkurang. Hal ini sesuai dengan pengaruh luas kontak antara permukaan benda uji dan arah bidikan sehingga semakin kecil sudut bidikan menyebabkan bidang benda yang terkena benda uji semakin kecil pula. Pada gambar 2.1 menunjukkan jarak terbaik adalah jarak terdekat yaitu 6. Dapat dilihat pada gambar 2.1.



Gambar 2.1 Pengaruh Jarak Tembakan dan Sudut Tembakan *Peening* terhadap Kekerasan Permukaan 316L

Sumber: Erich et al (2018)

Mahagaonkar et al. (2008) juga melakukan penelitian tentang pengaruh parameter *shot peening* terhadap kekerasan permukaan material AISI 1045 dan 316L. Pada penelitian ini didapatkan bahwa kekerasan permukaan material baik AISI 1045 dan 316L akan meningkat dengan berkurangnya jarak penembakan pada saat proses *shot peening*.

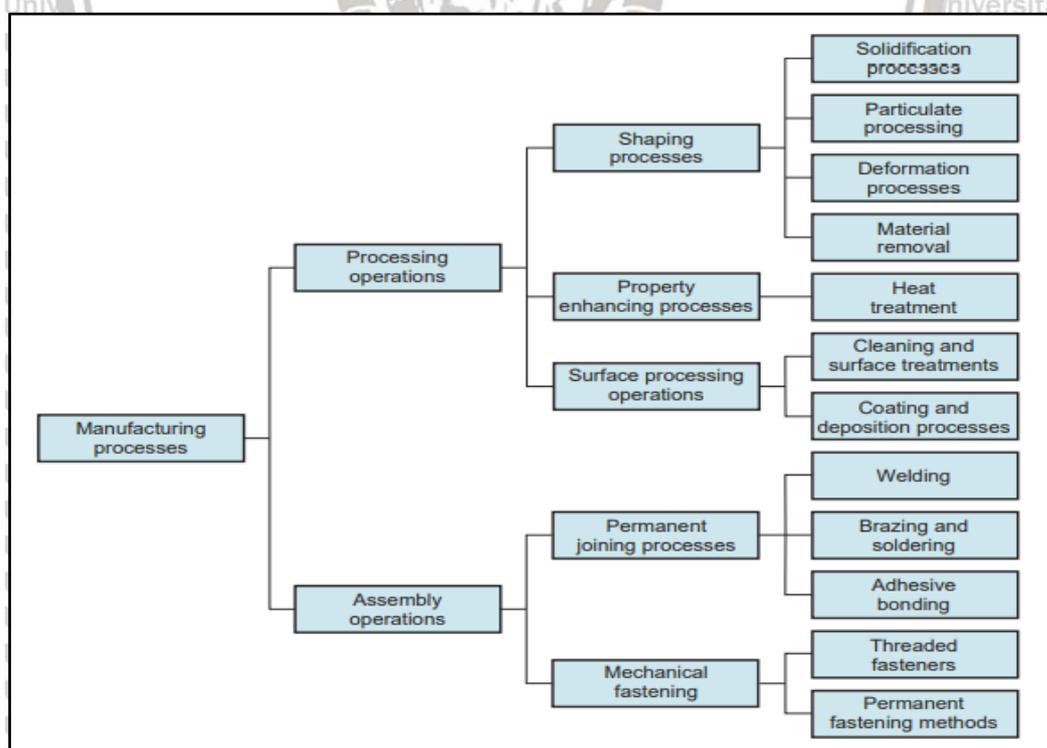
Pada material AISI 1045 dan 316L, diamati bahwa kekerasan mikro permukaan lebih banyak di permukaan dan secara bertahap menurun dengan meningkatnya kedalaman pada material.

Iswanto et al., (2018) melakukan penelitian tentang pengaruh *shot peening* terhadap mikrostruktur, kekerasan, dan ketahanan terhadap korosi AISI 316L. Pada penelitian ini proses *shot peening* menggunakan variasi jarak penembakan 6 cm dan 12 cm. Hasil

penelitian ini menunjukkan dengan adanya proses *shot peening* dapat meningkatkan kekerasan pada material, mengubah mikrostruktur pada lapisan permukaan dan meningkatkan ketahanan terhadap korosi. *Shot peening* dengan jarak 6 cm merupakan jarak terbaik dalam mengubah mikrostruktur pada lapisan permukaan dan kekerasan. Selain itu juga meningkatkan ketahanan terhadap korosi AISI 316L.

## 2.2 Proses Manufaktur

Proses manufaktur dapat diartikan sebagai pengerjaan yang dapat menghasilkan perubahan baik secara fisik maupun kimiawi pada bahan awal yang dimana bertujuan untuk meningkatkan nilai mutu dari bahan tersebut. Proses manufaktur terdiri dari beberapa langkah untuk mengubah dari bahan awal menjadi produk akhir. Ada 2 tipe dasar dalam operasi manufaktur yaitu operasi pemrosesan dan operasi perakitan. Dimana operasi pemrosesan mengubah dari bahan mentah mendekati produk akhir yang diinginkan dan menambah nilai dari suatu produk baik dengan mengubah ukuran, properti, atau tampilan bahan awal. Sedangkan operasi perakitan yaitu menggabungkan dua atau lebih komponen, misalnya pengelasan. Klasifikasi proses manufaktur disajikan pada gambar 2.2 (Groover, 2010:11)



Gambar 2.2 Klasifikasi Proses Manufaktur

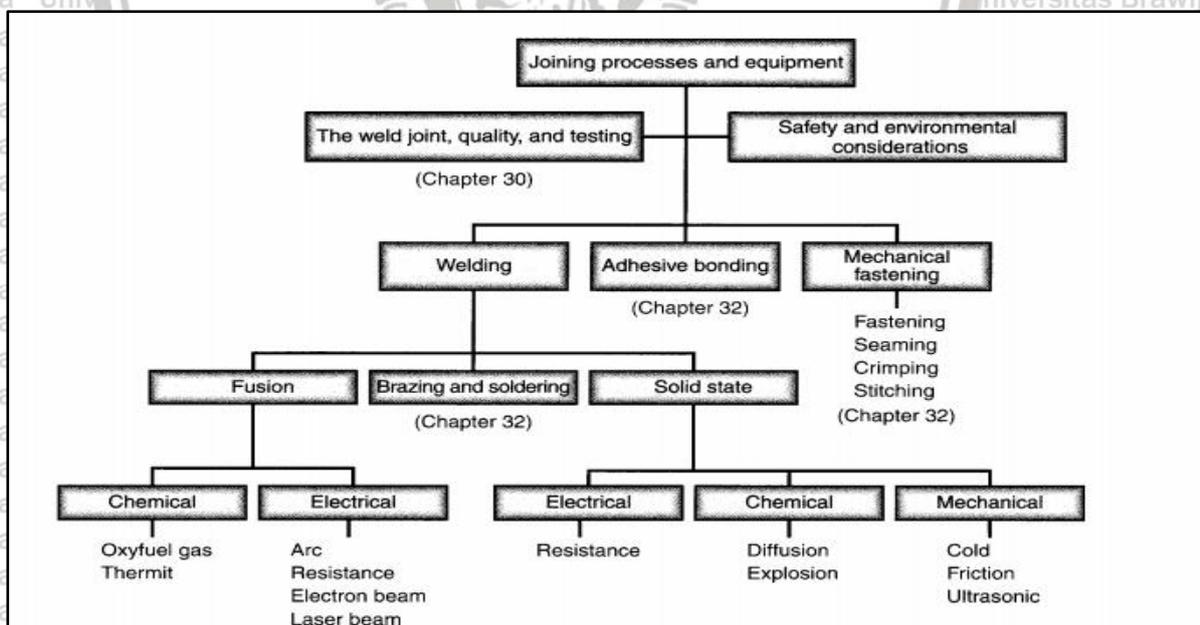
Sumber: Groover (2010:11)

### 2.3 Proses Pengelasan (*Welding Process*)

Proses pengelasan menurut *Deutsche Industrie Normen* (DIN) merupakan proses penyambungan dua logam yang dilakukan dalam keadaan lumer atau cair yang dimana terdapat ikatan metalurgi pada sambungan las. Di bidang konstruksi penggunaan teknik pengelasan memegang peranan penting diantaranya perkapalan, jembatan, rangka baja, bejana tekan, pipa pesat, pipa saluran, kendaraan rel, dll. (Harsono, 1985:1). Selain itu proses pengelasan juga diartikan proses penyambungan dua material atau lebih yang saling bersentuhan baik menggunakan panas atau tekanan yang sesuai (Groover, 2010:693).

Proses pengelasan sendiri pada umumnya dibagi menjadi 3 yaitu

1. *Fusion welding* adalah proses penggabungan dan peleburan bersama melalui panas yang ditimbulkan baik secara kimia maupun listrik. *Fusion welding* terdiri dari pengelasan dengan elektroda habis pakai dan tidak habis pakai. Contoh : GTAW, *Plasma Arc Welding*, SMAW, GMAW, dll.
2. *Solid-state welding* adalah proses penggabungan dimana tidak terjadi peleburan atau lelehan. Misalnya *diffusi bonding*, *ultrasonic welding*, *friction welding*, dll.
3. *Adhesive bonding* adalah proses penggabungan dimana membutuhkan zat perekat untuk menyambungkan dua material. (Kalpakjian, 2009:862)



Gambar 2.3 Klasifikasi proses penyambungan

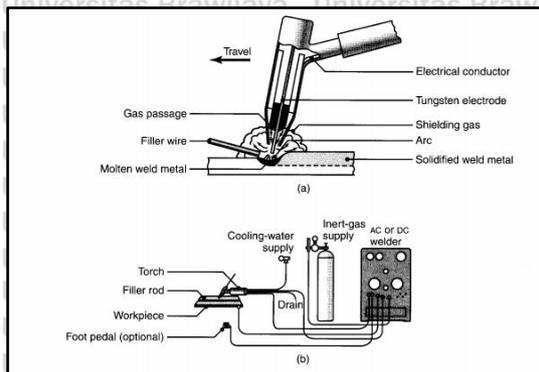
Sumber : Kalpakjian (2009:863)

### 2.3.1 Macam – Macam Las

#### 1. Pengelasan dengan elektroda tidak habis pakai:

##### a. *Gas Tungsten Arc Welding (GTAW)*

Merupakan jenis las yang sering dikenal dengan istilah *tungsten inert gas* (TIG). Dimana logam pengisi (*filler*) disuplai dari kawat pengisi. Pada jenis pengelasan ini elektrodanya *tungsten* yang tidak habis pakai sedangkan gas pelindungnya yaitu argon atau helium. (Kalpakjian, 2009:871)

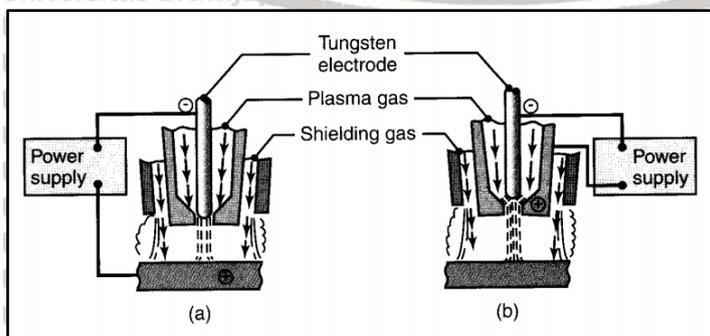


Gambar 2.4 (a) Proses pengelasan gas tungsten arc-welding (GTAW). (b) Peralatan untuk operasi pengelasan gas tungsten-arc welding (GTAW).

Sumber: Kalpakjian (2009:870)

##### b. *Plasma Arc Welding (PAW)*

Dalam pengelasan *plasma arc welding* busurnya stabil terkonsentrasi karena dipaksa melalui lubang yang relatif kecil dan suhunya mencapai  $33.000^{\circ}\text{C}$ . Plasma adalah gas panas terionisasi yang terdiri dari jumlah elektron dan *ion* yang hampir sama. Pengelasan *plasma arc welding* dapat dilihat pada gambar 2.5 (Kalpakjian, 2009:872)



Gambar 2.5 Dua tipe proses plasma arc welding; (a) transfer, (b) non transfer

Sumber : Kalpakjian (2009:872)

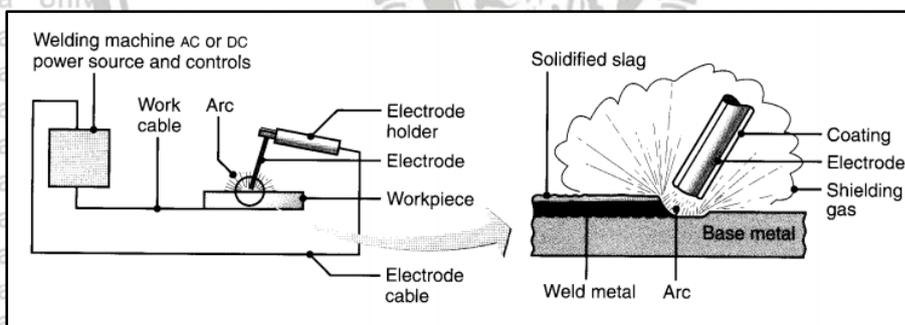
c. *Atomic Hydrogen Welding (AHW)*

*Atomic-hydrogen welding (AHW)* adalah jenis pengelasan busur, di mana busur dihasilkan di antara dua elektroda tungsten dengan gas pelindung hidrogen. Energi pada AHW dapat dengan mudah berganti-ganti dengan cara mengubah jarak antara aliran busur dan permukaan benda kerja. Proses AHW saat ini telah terganti oleh SMAW. (Kalpakjian, 2009:873)

2. Pengelasan dengan elektroda habis pakai

a. *Shielded Metal Arc Welding (SMAW)*

Proses penyambungan dua buah logam dengan menggunakan sumber panas dari listrik berbentuk busur arus dan elektroda terbungkus sebagai bahan tambah atau pengisi sehingga akan membentuk sambungan yang tetap. Logam yang leleh terdiri dari zat-zat dari lapisan elektroda, logam elektroda, dan logam dasar sehingga membentuk lasan. Las SMAW memiliki keuntungan relatif sederhana, serbaguna, dan membutuhkan variasi elektroda yang kecil. Las SMAW ini biasanya digunakan di bidang konstruksi misalnya pembuatan kapal, saluran pipa, dan *maintenance*. Pada las SMAW ini tang massa dijepit ke benda kerja sedangkan tang elektroda dijepit ke elektroda. Dapat dilihat pada gambar 2.6 (Kalpakjian, 2009:873)

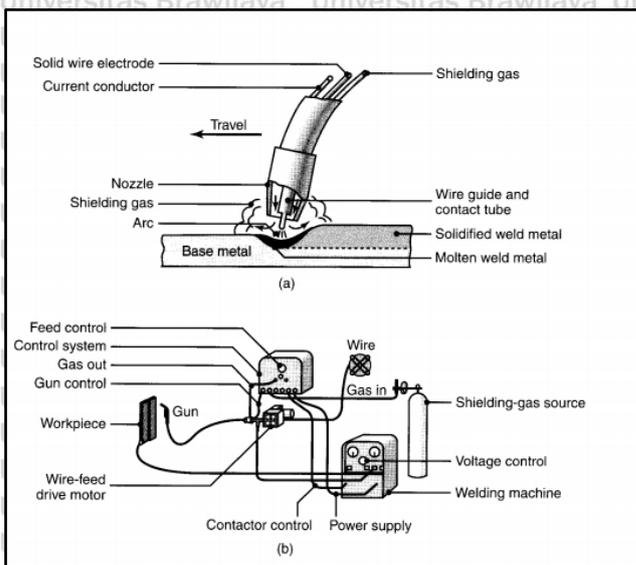


Gambar 2.6 Proses Pengelasan Las SMAW

Sumber : Kalpakjian (2009:873)

b. *Gas Metal Arc Welding (GMAW)*

*Gas metal arc welding (GMAW)* biasa dikenal dengan nama las MIG (*metal inert gas*) yang dimana pada pengelasan jenis ini elektrodanya berupa gulungan kawat dan gas pelindungnya bersifat *inert*, contohnya argon, helium, dll. Elektroda yang berupa gulungan kawat digerakkan secara otomatis melalui nosel ke busur pengelasan oleh motor penggerak. Dapat dilihat pada gambar 2.7 (Kalpakjian, 2009:875)



Gambar 2.7 (a) Proses pengelasan gas metal arc-welding (GMAW). (b) Peralatan dasar yang digunakan pada proses pengelasan GMAW  
 Sumber : Kalpakjian (2009:875)

c. *Submerged Arc Welding (SAW)*

Pada proses pengelasan ini busur las dilindungi oleh butiran fluks yang terdiri dari kapur, silika, oksida mangan, kalsium fluorida, dan senyawa lainnya. *Fluks* dimasukkan ke zona pengelasan dari *hopper* dengan aliran gravitasi melalui nozel. (Kalpakjian, 2009:874)

d. *Flux Cored Arc Welding (FCAW)*

*Flux cored arc welding (FCAW)* merupakan jenis las yang hampir sama dengan GMAW dimana dengan memanaskan elektroda pengisi dengan benda kerjanya. Tetapi pada jenis pengelasan ini elektroda berbentuk tabung. Pelindung disediakan oleh *fluks* yang terkandung di dalam elektroda tubular dan dapat ditambah dengan gas yang disuplai dari luar. (Kalpakjian, 2009:876)

e. *Electrogas welding (EGW)*

*Electrogas welding (EGW)* adalah proses pengelasan busur yang menggunakan elektroda *consumable* kontinyu dan menggunakan *molding shoes* untuk menahan cairan las. EGW juga menggunakan *molding shoes* yang mencegah cairan las lari keluar. *Molding shoes* berperan mirip sebagai rongga cetakan. *Molding shoes* dilengkapi dengan penggerak mekanis supaya dapat berpindah mengikuti pergerakan las. (Kalpakjian, 2009:877)

### 2.3.2 Parameter Pengelasan SMAW

Ada beberapa parameter dalam melakukan pengelasan SMAW:

#### 1. Arus Pengelasan (*Welding Current*)

Arus pengelasan mempengaruhi laju leleh dari elektroda dan kedalaman penetrasi yang dihasilkan. Pada pengelasan SMAW arus pengelasan dibagi menjadi yaitu arus searah dan arus bolak-balik.

##### a. Arus Searah (*Direct Current*)

Pada proses pengelasan dengan arus searah (DC) selalu memberikan busur yang lebih stabil dan transfer logam yang lebih halus daripada AC. Ini karena polaritas DC tidak berubah ubah. Pada arus DC ini terdapat dua polaritas yaitu polaritas lurus dan terbalik. Polaritas terbalik yaitu pada proses pengelasan tang elektroda berada di kutub positif (+) mesin las, sedangkan polaritas lurus tang elektroda berada di kutub negatif (-). Pada polaritas terbalik menghasilkan penetrasi yang lebih dangkal dan melebar, tetapi polaritas lurus menghasilkan penetrasi yang lebih dalam dan terpusat. Arus searah lebih disukai untuk pengelasan vertikal dan *overhead* dan untuk pengelasan dengan busur pendek. Busur DC memiliki kecenderungan lebih kecil untuk konsleting karena butiran logam cair ditransfer melewatinya. Pukulan busur mungkin menjadi masalah saat logam magnet (besi dan nikel) dilas dengan DC. Salah satu cara untuk mengatasi masalah tersebut adalah dengan mengganti ke ac. (Kearns, 1978:78)

##### b. Arus bolak balik (*Alternating Current*)

Pada jenis arus AC ini biasanya dihasilkan dari listrik PLN yang dimana biasanya tegangan yang dibutuhkan masih belum sesuai dari mesin yang kita gunakan maka dari itu dibutuhkan transformator untuk menaikkan dan menurunkan tegangan agar sesuai dengan mesin yang kita gunakan. Pada arus AC kecepatan pengelasan tertinggi dapat diperoleh dalam posisi datar. Jenis arus ini masih memiliki beberapa kekurangan yaitu nyala busur tidak stabil dan tidak bisa digunakan untuk semua jenis elektroda.

(Kearns, 1978:66)

#### 2. Diameter Elektroda

Pada saat proses pengelasan diameter elektroda juga harus ditentukan sesuai dengan ketebalan material yang akan dilas, posisi pengelasan, dan jenis sambungan yang akan dilas. Untuk material yang tebal dan arus yang tinggi menggunakan diameter elektroda yang besar karena sangat membantu dalam mendapatkan fusi lengkap dan penetrasi yang tepat dari logam sambungan las. Sedangkan pemilihan diameter elektroda kecil biasanya digunakan pada saat posisi pengelasan horizontal, vertikal, dan *overhead* karena logam cair

cenderung keluar dari alur pengelasan karena gaya gravitasi. Selain itu pemilihan diameter elektroda tersebut juga harus sesuai dengan kampuh las yang dipakai. Pada jenis kampuh V elektroda berdiameter kecil sering digunakan sebagai lintasan awal untuk mengontrol lelehan dan bentuk manik. Sedangkan elektroda yang lebih besar dapat digunakan untuk menyelesaikan pengelasan, memanfaatkan penetrasi yang lebih dalam dan tingkat deposisi yang lebih tinggi. Jadi ukuran elektroda yang benar yaitu bila digunakan dengan arus listrik dan kecepatan gerak yang tepat, menghasilkan lasan dengan ukuran yang diperlukan dalam waktu yang paling singkat. (Kearns, 1978:66)

### 3. Besar Arus Listrik (*Ampere*)

Besar arus (*ampere*) yang digunakan harus sesuai tebal material, jenis material, dan juga bagian yang akan dilas. *Ampere* ini merupakan salah satu faktor utama yang mempengaruhi hasil pengelasan mulai dari kedalaman penetrasi atau fusi *weld* metal dengan benda kerja. Sebagai catatan semakin besar arus yang digunakan maka penetrasi akan semakin dalam dan sebaliknya jika arus semakin kecil maka penetrasi semakin dangkal. Untuk pengelasan vertikal dan *overhead*, arus listrik optimal kemungkinan besar berada di ujung bawah kisaran yang diizinkan. *Ampere* di luar kisaran yang direkomendasikan sebaiknya tidak digunakan. Hal ini dapat membuat elektroda menjadi terlalu panas dan menyebabkan percikan yang berlebihan, pukulan busur, pemotongan, dan retak logam las. Dapat ditunjukkan pada gambar 2.8 (B) (C) (Kearns, 1978:67)

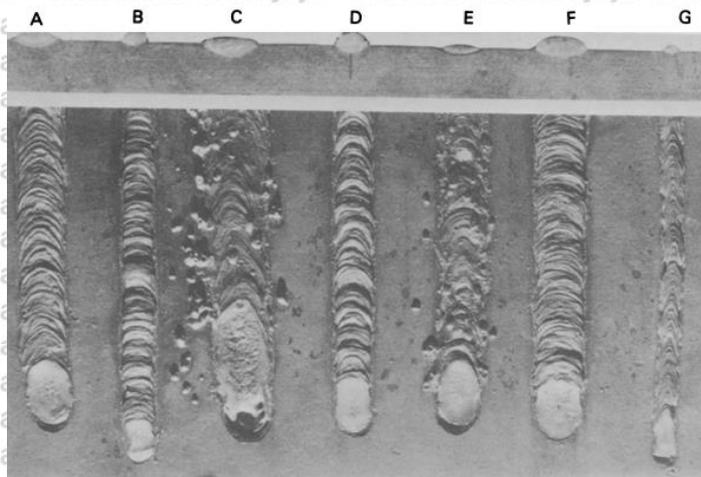
### 4. Kecepatan Pengelasan (*Travel speed*)

Kecepatan pengelasan adalah kecepatan dimana elektroda bergerak pada logam yang akan dilas. Kecepatan gerak pada saat proses mengelas yang baik yaitu menghasilkan manik las dengan kontur dan tampilan yang tepat, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.8 (A). Ada beberapa faktor yang mempengaruhi kecepatan pengelasan diantaranya jenis arus pengelasan, arus listrik, posisi pengelasan, ketebalan material, dan sebagainya. Dengan menggunakan kecepatan las yang tinggi dapat menyebabkan penetrasinya menurun, permukaan manik rusak, menghasilkan cacat *undercut* pada tepi lasan, dan juga porositas pada logam lasan. Pengaruh kecepatan gerak tinggi pada penampilan manik ditunjukkan pada Gambar 2.8 (G). Dengan kecepatan gerak rendah, manik las akan melebar dan cembung dengan penetrasi yang dangkal, seperti yang diilustrasikan pada Gambar 2.8 (F) Kecepatan gerak pengelasan juga mempengaruhi *heat input*, struktur metalurgi lasan dan zona yang terpengaruh panas pada saat pengelasan. Kecepatan gerak rendah meningkatkan *heat input* dan meningkatkan ukuran zona yang terpengaruh panas serta mengurangi laju pendinginan pengelasan. Sedangkan kecepatan gerak yang lebih

tinggi mengurangi ukuran zona yang terpengaruh panas dan meningkatkan laju pendinginan las. Peningkatan laju pendinginan dapat meningkatkan kekuatan dan kekerasan lasan. (Kearns, 1978:68)

#### 5. Panjang Busur (*Arc Length*)

Panjang busur adalah jarak dari ujung lelehan kawat inti elektroda ke permukaan kolam las lelehan. Panjang busur meningkat dengan bertambahnya diameter elektroda dan arus listrik. Pengaruh busur panjang dan pendek pada penampilan manik pada hasil lasan diilustrasikan pada Gambar. 2.8 (D) dan (E). (Kearns, 1978:68)



Gambar 2.8 Pengaruh besar arus listrik (*ampere*), panjang busur, dan kecepatan pengelasan pada hasil lasan. (A) Besar *ampere*, panjang busur, dan kecepatan pengelasan yang sesuai; (B) *Ampere* rendah; (C) *Ampere* tinggi; (D) panjang busur pendek; (E) Panjang busur panjang; (F) Kecepatan pengelasan rendah; (G) kecepatan pengelasan tinggi.

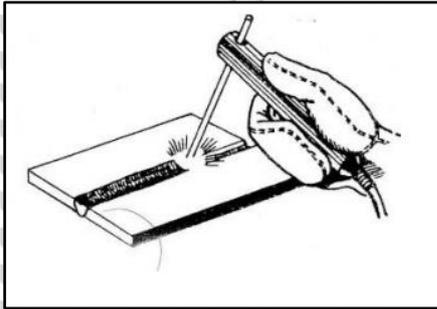
Sumber : Kearns (1978:69)

### 2.3.3 Posisi Pengelasan

Posisi pengelasan merupakan pengaturan gerakan elektroda dan letak elektroda pada logam yang akan dilas. Posisi pengelasan disini tergantung dari jenis pekerjaan yang akan dikerjakan dan juga celah celah benda kerja yang akan dilas. posisi pengelasan memiliki pengaruh yang kuat terhadap produktivitas dan kemudahan operasi pengelasan. (Tarkono & Sugiyanto, 2010) Pada jenis las busur listrik ada 4 jenis posisi pengelasan diantaranya:

#### 1. Posisi dibawah tangan (*down head position*)

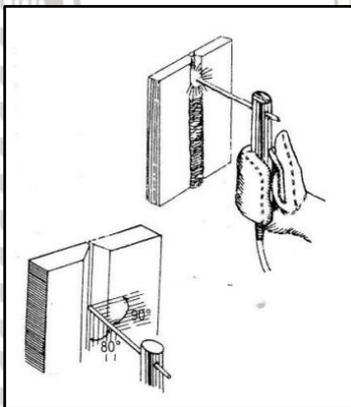
Posisi pengelasan jenis ini mudah dilakukan. Untuk posisi pengelasan ini dilakukan pada permukaan yang rata atau datar dan posisi elektroda berada diatas benda kerja yang akan dilas. Untuk Kemiringan elektroda las sekitar  $10^{\circ}$  -  $20^{\circ}$  terhadap garis vertikal dan  $70^{\circ}$  -  $80^{\circ}$  terhadap benda kerja. (Gunawan et al., 2017) dapat dilihat pada gambar 2.9



Gambar 2.9 Posisi dibawah tangan  
Sumber : (Tarkono & Sugiyanto, 2010)

## 2. Posisi tegak (*vertical position*)

Jenis posisi pengelasan yang dimana gerakan elektroda las yaitu naik turun mengikuti arah garis tegak/ vertikal. Pada posisi pengelasan seperti ini benda kerja yang akan dilas berada pada posisis tegak atau vertikal. Untuk kemiringan elektroda sekitar  $10^{\circ}$  -  $15^{\circ}$  terhadap garis vertikal dan  $70^{\circ}$  -  $85^{\circ}$  terhadap benda kerja. Biasanya digunakan pada pengelasan badan kapal laut arah vertikal. (Gunawan et al., 2017) Dapat ditunjukkan pada gambar 2.10

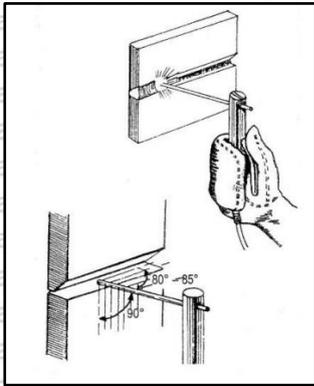


Gambar 2.10 Posisi tegak (vertikal)  
Sumber : (Tarkono & Sugiyanto, 2010)

## 3. Posisi mendatar (*horizontal position*)

Posisi mendatar merupakan pengelasan yang arahnya mengikuti arah garis mendatar/horizontal. Pada posisi pengelasan ini kemiringan dan arah ayunan elektroda harus diperhatikan, karena akan sangat mempengaruhi hasil pengelasan. Pengelasan posisi mendatar sering digunakan untuk pengelasan benda-benda yang berdiri tegak, Misalnya pengelasan badan kapal laut arah horizontal. Untuk posisi pengelasan jenis ini elektroda

dibuat miring sekitar  $5^{\circ}$ - $10^{\circ}$  terhadap garis vertikal dan  $70^{\circ}$  -  $80^{\circ}$  ke arah benda kerja. Dapat ditunjukkan pada gambar 2.11 (Gunawan et al., 2017)

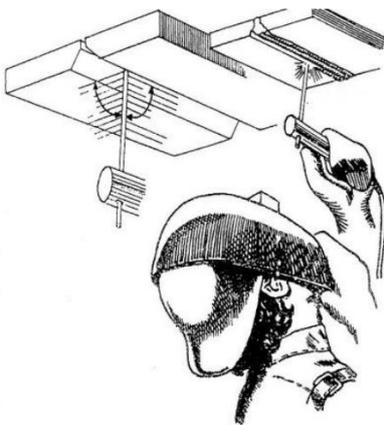


Gambar 2.11 Posisi mendatar (horizontal)  
Sumber : (Tarkono & Sugiyanto, 2010)

#### 4. Posisi diatas kepala (*Over head*)

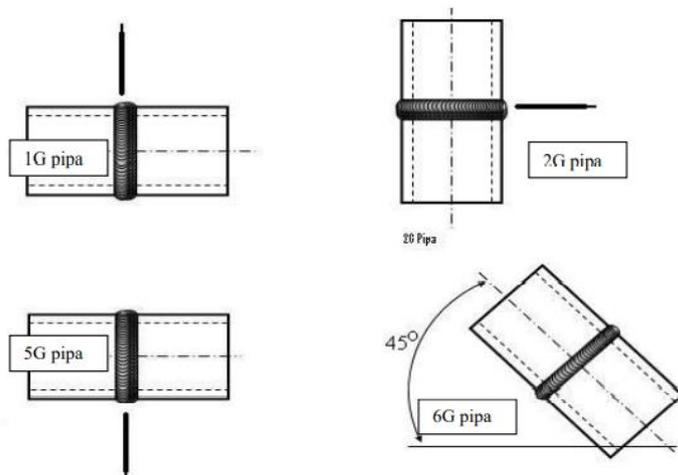
Jenis posisi pengelasan ini lebih sulit dan berbahaya dibandingkan dengan posisi-posisi pengelasan yang lain. Karena pada posisi *over head* benda kerja berada diatas kepala dan juga pada jenis las ini berbahaya untuk *welder* karena bahan cair pada saat pengelasan mudah berjatuhannya sehingga dibutuhkan perlengkapan yang sangat lengkap diantaranya baju las, sarung tangan, sepatu kulit, dan sebagainya. Pada posisi pengelasan ini kedudukan elektroda sekitar  $5^{\circ}$  -  $20^{\circ}$  terhadap garis vertikal dan  $75^{\circ}$  -  $85^{\circ}$  terhadap benda kerja.

(Gunawan et al., 2017) dapat ditunjukkan pada gambar 2.12



Gambar 2.12 Posisi diatas kepala (over head)  
Sumber : (Tarkono & Sugiyanto, 2010)

Posisi pengelasan juga harus disesuaikan dengan jenis pekerjaan yang dilakukan Berikut contoh-contoh posisi pengelasan pada pipa. Dapat dilihat pada gambar 2.13



Gambar 2.13 Posisi – posisi pengelasan pada pengelasan pipa  
 Sumber : (Tarkono & Sugiyanto, 2010)

Posisi pengelasan pipa 1G ini sama dengan posisi dibawah tangan (*down hand position*). Pada posisi jenis ini pipa diputar kemudian dilakukan pengelasan dengan posisi elektroda berada diatas benda kerja. Posisi pengelasan pipa 2G sama dengan posisi mendatar (*horizontal position*) dimana pada posisi jenis ini pipa diam kemudian *welder* mengelas mengitari pipa. Pada posisi pengelasan 5G pipa diam, *welder* mengelas diawali dari bagian bawah terus melingkar berhenti di pipa bagian atas pada sisi sebelahnya. Pada sisi lain dilakukan dengan cara yang sama yaitu diawali dari bawah terus melingkar dan berhenti di atas. Pada posisi pengelasan 6G. Pemasangan pipa dimiringkan 45 derajat terhadap sumbu horizontal. Pengelasan dilakukan dari pipa bagian bawah terus 20 melingkar ke arah kanan/kiri dan berhenti di atas. Dilanjutkan dengan pengelasan sebaliknya diawali dari bawah dan terus melingkar berhenti di bagian atas. (Gunawan et al., 2017)

#### 2.4 Carbon Steel

Baja karbon adalah material yang sering digunakan oleh para desainer pipa yang dimana untuk mengumpulkan dan mengalirkan gas alam, minyak mentah, maupun air baik untuk jarak yang dekat maupun yang jauh. (Muthukumar, 2014) Baja karbon sering dipakai dalam industri manufaktur karena biayanya yang rendah dan fabrikasinya yang mudah. Unsur paduan utamanya yaitu karbon, selain karbon juga mengandung unsur-unsur lain sebagai berikut: Mn hingga 1,65%, S hingga 0,05%, P hingga 0,04%, Si hingga

0,60%, dan Cu hingga 0,60%. (Totten, 2006:13). *Carbon steel* dapat diklasifikasikan menjadi 3 dilihat dari kandungan karbonnya diantaranya yaitu

#### 1. *Low Carbon Steel*

Baja karbon rendah (*low carbon steel*) disebut juga *mild steel* mengandung karbon kurang dari 0,30% dan untuk saat ini baja karbon rendah yang sering digunakan karena baja ini relatif mudah dibentuk tidak memerlukan kekuatan yang tinggi. Contohnya pada baut, mur, plat, dan pipa

#### 2. *Medium Carbon Steel*

Baja karbon sedang (*medium carbon steel*) memiliki kisaran karbon antara 0,30% - 0,60% dan pada baja karbon jenis ini membutuhkan kekuatan yang lebih tinggi dibandingkan dengan *low carbon steel*. Untuk pengaplikasiannya diantaranya pada komponen mesin, dan bagian mesin seperti poros engkol dan batang penghubung.

#### 3. *High Carbon Steel*.

Baja karbon tinggi (*high carbon steel*) mengandung karbon lebih dari 0,60%, dimana pada jenis karbon ini memiliki kekakuan dan kekerasan yang tinggi. Contoh pengaplikasiannya yaitu pada pegas, *cutting tools* dan *blade* serta bagian bagian yang tahan aus contohnya. (Groover, 2010:113)

### 2.4.1 ASTM A 106 Grade B

ASTM A106 grade B merupakan jenis pipa yang banyak digunakan di bidang industri terkait penyaluran minyak dan gas bumi. Dimana jenis pipa ini termasuk dalam jenis baja karbon rendah berbentuk pipa *seamless*. Untuk kandungan karbonnya yaitu maksimal sebesar 0,30% C dan mempunyai tegangan tarik minimal 415 Mpa. (Husaini, 2014) Selain mengandung unsur karbon pipa jenis ini juga mengandung unsur lain diantaranya Mn, Si, P, S. Pipa baja karbon ini juga memiliki sifat mekanik dan ketahanan termal yang sangat baik. (Yingsamphancharoen et al., 2016)

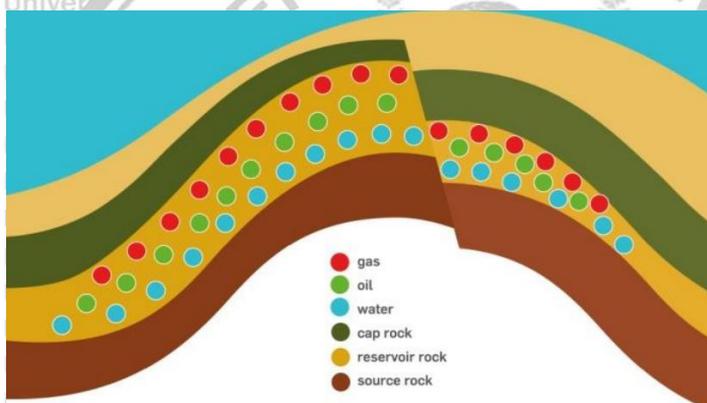
## 2.5 Minyak mentah (*Crude Oil*)

Minyak mentah didapatkan dengan diekstraksi dari reservoir dengan cara mengebor kemudian memompa minyak ke atas. Setelah minyak mentah didapatkan, minyak tersebut diangkut ke kilang di mana ia menjalani proses penyulingan yang rumit yang menghasilkan berbagai produk minyak bumi. Minyak mentah dapat diklasifikasikan ke dalam kategori yang berbeda diantaranya yaitu:

#### 1. Minyak mentah ringan dan berat, yang dimana tergantung dari kepadatan minyak

2. Minyak mentah asam dan manis (*sweet and sour crude oil*), yang dimana berkaitan dengan kandungan sulfur, minyak mentah asam memiliki sulfur lebih besar dari 0,5%.
3. Minyak mentah Konvensional dan nonkonvensional berkenaan dengan metode ekstraksi yang berbeda, minyak mentah konvensional diekstraksi dengan metode ekstraksi tradisional dan membutuhkan teknik pengolahan minimal setelah diproduksi, sedangkan untuk minyak mentah non konvensional, diekstraksi dengan metode ekstraksi lanjutan dan memerlukan teknik pengolahan tambahan setelah diproduksi untuk diangkut dan dimurnikan, karena minyak nonkonvensional tidak dapat dipulihkan dan diangkut dalam keadaan aslinya. (Ibrahim et al., 2019)

Minyak mentah adalah campuran hidrokarbon cair yang relatif mudah menguap (senyawa yang sebagian besar terdiri dari hidrogen (H) dan karbon (C)), meskipun juga mengandung beberapa nitrogen (N), sulfur (S), dan oksigen (O). (Anto et al., 2020) Asal mula minyak dapat ditunjukkan pada gambar 2.14



Gambar 2.14 Asal mula minyak  
Sumber : Ibrahim, et.al (2019)

## 2.6 Kekerasan

Kekerasan merupakan salah satu sifat mekanik yang perlu dipertimbangkan pada material. Kekerasan adalah ketahanan dari suatu material terhadap deformasi plastis atau deformasi permanen misalnya indentasi, atau goresan. Deformasi merupakan berubahnya bentuk atau struktur dari suatu material. (Callister, 2001:176) Ada tiga jenis untuk mengetahui kekerasan dari suatu material diantaranya yaitu kekerasan goresan, kekerasan pantul, dan kekerasan indentasi. Untuk kali ini akan lebih membahas metode indentasi. Pada uji kekerasan indentasi ada beberapa metode yang dimana tergantung pada jenis indenter yang ditekan pada permukaan spesimen. (Maulana, 2018)

### 2.6.1 Jenis – Jenis Uji Kekerasan

#### 1. Uji Kekerasan *Brinell* (*Brinell Hardness Test*)

Jenis pengujian ini banyak digunakan untuk menguji logam dan nonlogam dengan kekerasan yang rendah hingga sedang. Dalam pengujian ini bola baja terbuat dari semen karbida dengan ukuran diameter bola 10 mm dan ditekan ke permukaan spesimen dengan beban 500, 1500, atau 3000 kg. Angka kekerasan *Brinell* (I-IB) didefinisikan sebagai rasio beban P terhadap luas permukaan lengkung lekukan. (Groover, 2010:53)

#### 2. Uji Kekerasan *Rockwell* (*Rockwell Hardness Test*)

Pada pengujian jenis ini menggunakan indenter berbentuk kerucut atau bola berdiameter kecil dengan diameter 1,6 atau 3,2 mm (1/16 atau 1/8 In) yang ditekan ke permukaan spesimen dengan beban minimal 10 kg dan beban maksimal 150 kg sehingga indenter masuk ke dalam material dengan jarak tertentu. Pada uji kekerasan *rockwell* terdapat beberapa skala yang dimana tergantung pada beban dan geometri *indenter*. Dapat dilihat pada gambar 2.15 (Groover, 2010:54)

Rockwell Scale	Hardness Symbol	Indenter	Load (kg)	Typical Materials Tested
A	HRA	Cone	60	Carbides, ceramics
B	HRB	1.6 mm ball	100	Nonferrous metals
C	HRC	Cone	150	Ferrous metals, tool steels

Gambar 2.15 Tabel skala kekerasan *rockwell*

Sumber : Groover (2010:54)

#### 3. *Knoop Hardness Test*

Pada uji kekerasan *knoop* menggunakan indenter intan berbentuk piramida yang dimana piramidanya memiliki rasio panjang lebar sekitar 7:1 dan beban yang diberikan lebih ringan dari pada uji *vickers*. Uji kekerasan *knoop* merupakan uji kekerasan mikro yang artinya cocok untuk spesimen yang kecil dan tipis atau bahan yang keras jika diberikan beban yang lebih berat. Pada pengujian ini menggunakan beban 25 g sampai 5 kg yang ditekan ke permukaan spesimen. (Groover, 2010:54)

#### 4. *Vickers Hardness Test*

Pada penelitian ini menggunakan uji kekerasan *vickers* yang dimana pada uji *vickers* menggunakan indenter intan berbentuk piramida dan bebannya berkisar dari 1 kg sampai 120 kg. Jenis pengujian ini cocok untuk menguji berbagai jenis kekerasan material. (Groover, 2010:54) Dalam uji kekerasan *vickers* memiliki kelebihan yaitu tidak merusak

spesimen uji karena hasil indentasi sangat kecil dan biasanya spesimen bisa dipakai kembali. Metode uji *vickers* menggunakan sudut antar permukaan - permukaan piramida yang saling berhadapan dengan sudut  $136^\circ$ . Dan lama waktu penjejakan berlangsung selama 15 detik dan dapat menghasilkan ketelitian antara 2-4 mikro milimeter. (Maulana, 2018) Nilai kekerasan dapat dihitung menggunakan rumus *vickers* sebagai berikut:

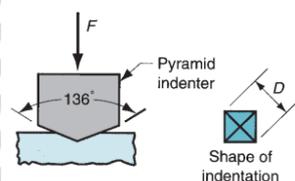
$$HV = \frac{1,854 F}{D^2} \dots \dots \dots (2-1)$$

Dimana :

F = Beban yang digunakan (Kg)

D = Diagonal hasil indentasi *indenter* (mm)

Dimana dapat dilihat pada gambar 2.x



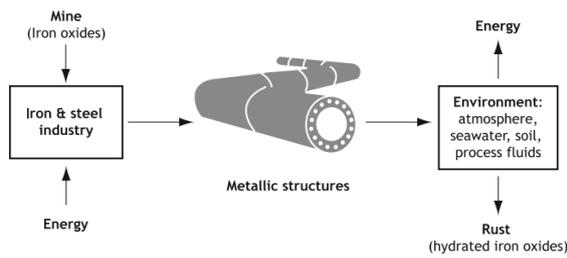
Gambar 2.16 Bentuk Indentasi *Vickers*

Sumber : Groover (2010:53)

## 2.7 Korosi

### 2.7.1 Definisi Korosi

Pengertian korosi menurut fontana dapat diartikan proses penghancuran atau penurunan sifat material yang disebabkan adanya reaksi dengan lingkungan. Istilah korosi sekarang mencakup semua jenis bahan alami dan buatan manusia termasuk biomaterial dan nanomaterial, dan tidak terbatas pada logam dan paduan saja. (Pietro, 2018:2) Selain itu korosi juga adalah proses kerusakan pada material yang dikarenakan adanya aksi kimiawi atau elektrokimia dengan lingkungan sekitarnya. Korosi memerlukan konversi logam dari atom ke keadaan ionik, dengan hilangnya satu atau lebih elektron. (Muthukumar, 2014) dengan adanya proses transfer elektron dari logam ke lingkungan akan menyebabkan terjadinya korosi dimana terdapat anoda yaitu logam dan penerima elektronnya adalah lingkungan. (Subiyanto & Ngatin, 1970) Syarat terjadinya korosi yaitu adanya anoda dan katoda sehingga terjadi perbedaan beda potensial sedangkan elektrolit sebagai penghubung pertukaran kontak antar logam dan elektron. (C-ring, 2009)



Gambar 2.17 Proses pengkorosian logam

Sumber : Pietro (2018:2)

### 2.7.2 Klasifikasi Korosi

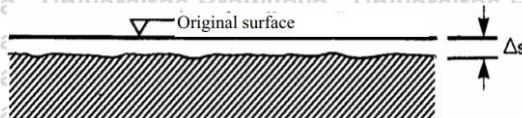
Jenis korosi yang terjadi pada suatu material berbeda – beda tergantung dari reaksi dan pemicunya, dengan hal ini digunakan sebagai dasar untuk mengklasifikasikan berbagai jenis jenis korosi yang timbul pada suatu material sehingga kita dapat mengurangi atau mengantisipasi serangan korosi tersebut. (C-ring, 2009) Pada umumnya korosi dapat dibagi menjadi 3 kelompok utama yaitu

1. Korosi basah, di mana lingkungan korosifnya adalah air dengan spesies terlarut. Dan elektrolitnya berupa cairan dan prosesnya biasanya elektrokimia.
2. Korosi dalam cairan lain seperti garam menyatu dan logam cair.
3. Korosi kering, di mana lingkungan korosif adalah gas kering. Korosi kering juga sering disebut korosi kimia dan contoh yang paling terkenal adalah korosi high temperature. (Bardal, 2003:1)

Jenis korosi juga dapat diketahui dengan inspeksi visual baik dengan mata telanjang kaca pembesar maupun mikroskop. Dimana setelah terjadinya korosi akan terlihat bentuk permukaan materialnya akan berbeda beda. Adapun jenis jenis korosi adalah sebagai berikut :

1. Korosi Seragam (*uniform corrosion*)

Korosi seragam merupakan korosi dengan serangan yang cukup merata diatas permukaan logam sehingga menyebabkan pengurangan ketebalan yang relatif seragam dapat dilihat pada gambar 2.18. Biasanya ini terjadi pada pelat baja atau profil, logam homogen dan korosi jenis ini paling sering terjadi pada logam. (Bardal, 2003:91)

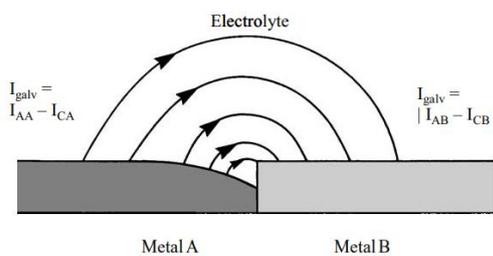


Gambar 2.18 Uniform Corrosion

Sumber : Bardal (2003:91)

## 2. Korosi Galvanis (*galvanic corrosion*)

Jenis korosi *galvanic* akan terjadi jika dua logam yang berbeda tersambung melalui elektrolit sehingga salah satu dari logam tersebut akan terserang korosi sedang lainnya terlindungi dari korosi. Dan yang mengalami korosi yaitu logam yang lebih *anodic*. Dapat dilihat pada gambar 2.19. (Bardal, 2003:94)



Gambar 2.19 Galvanic Corrosion

Sumber : Bardal (2003:95)

## 3. Korosi Celah (*Crevice Corrosion*)

Korosi celah merupakan jenis korosi yang terjadi karena adanya celah, saringan atau endapan pada permukaan logam dapat menimbulkan bentuk korosi lokal, dapat dilihat pada gambar 2.20. Korosi celah menjadi perhatian di banyak lingkungan untuk paduan aktif-pasif seperti baja tahan karat, paduan nikel dan titanium. Biasanya, baja tahan karat mengalami korosi celah di air laut atau larutan yang mengandung klorida, yang terdapat di sebagian besar pabrik industri seperti di kimia, petrokimia, farmasi, pengolahan makanan, serta di bidang teknik biomedis, nuklir dan sipil. (Pietro, 2003:232)



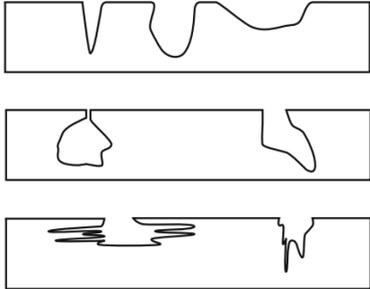
Gambar 2.20 Crevice Corrosion

Sumber : Pietro (2018:231)

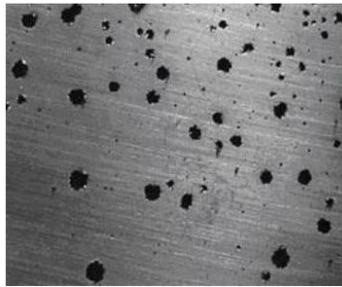
## 4. Korosi Sumuran (*Pitting Corrosion*)

Korosi sumuran adalah jenis korosi yang terjadi karena adanya serangan korosi lokal pada permukaan logam sehingga membentuk cekungan atau lubang pada permukaan logam. Dimana pada korosi ini juga menghasilkan penetrasi yang dalam berbentuk lubang,

dengan diameter kurang dari beberapa milimeter. Terdapat jenis jenis bentuk *pitting corrosion* dapat dilihat pada gambar 2.21 dan untuk contohnya dapat dilihat pada gambar 2.22 ((Pietro, 2018:208)



Gambar 2.21 Jenis jenis bentuk *pitting corrosion*  
Sumber : Pietro (2018:208)



Gambar 2.22 *Pitting Corrosion*  
Sumber : Utomo (2009)

##### 5. Korosi Batas Butir (*Intergranular Corrosion*)

Korosi yang menyerang pada batas butir akibat adanya segregasi dari unsur pasif seperti krom meninggalkan batas butir sehingga pada batas butir bersifat *anodic*. Jenis korosi ini berbahaya karena gaya kohesif antar butir mungkin terlalu kecil untuk menahan tegangan tarik, ketangguhan material juga berkurang pada tahap awal terjadinya korosi, dan dapat juga terjadi patah. (Bardal, 2003:131) Dapat dilihat pada gambar 2.23



Gambar 2.23 *Intergranular corrosion*  
Sumber : Pietro (2018:297)

#### 6. Korosi Erosi (*Errosion Corrosion*)

Korosi jenis ini disebabkan karena adanya laju aliran yang tinggi dan fluida yang bersifat korosif. Pada bagian yang kecepatan alirannya rendah maka tingkat laju korosi juga rendah sedangkan jika pada bagian yang kecepatannya alirannya tinggi maka laju korosi juga tinggi sehingga dapat menyebabkan keausan dan dapat menggerus lapisan pelindung pada material. (Utomo, 2009) Contoh korosi erosi dapat dilihat pada gambar 2.24



Gambar 2.24 Errosion Corrosion

Sumber : Utomo (2009)

#### 7. Korosi Lelah (*Fatigue Corrosion*)

Jenis korosi ini dapat terjadi karena adanya beban yang diberikan kepada logam secara terus menerus sehingga logam mengalami kelelahan dan menyebabkan patah pada material. Adanya lingkungan yang agresif dapat mempercepat terjadinya korosi. (Pietro, 2018:262) Contoh jenis korosi ini dapat dilihat pada gambar 2.25



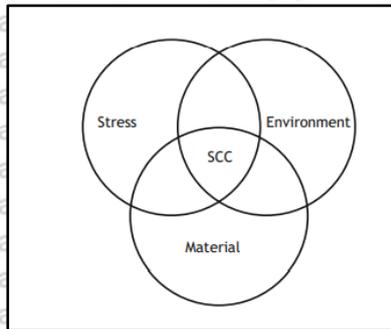
Gambar 2.25 Fatigue Corrosion

Sumber : Pietro (2018:262)

#### 8. *Stress Corrosion Cracking (SCC)*

Retak korosi tegangan (*stress corrosion cracking*) dapat diartikan sebagai pembentukan retak karena efek simultan dari tegangan tarik statis dan korosi. Tegangan tarik dapat berasal dari beban eksternal, gaya sentrifugal atau perubahan suhu, atau mungkin tegangan internal yang disebabkan oleh pengerjaan dingin, pengelasan atau perlakuan panas. Retakan terutama terbentuk di bidang normal terhadap tegangan tarik, dan menyebar secara intergranular atau transgranular, lebih atau kurang bercabang. Jenis

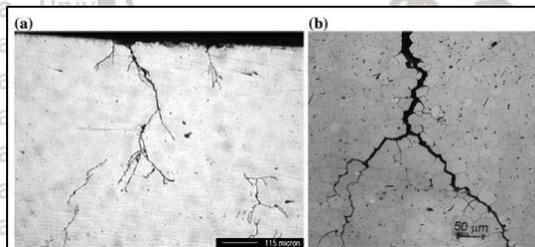
korosi ini sangat berbahaya karena SCC sulit untuk diperkirakan kapan terjadinya. (Bardal, 2003:156) SCC dapat terjadi karena adanya tiga kondisi yang saling berkaitan yaitu adanya tegangan tarik, lingkungan yang korosif dan temperatur yang tinggi ditunjukkan pada gambar 2.26 (Pietro, 2018:244)



Gambar 2.26 Keterkaitan tiga kondisi yang menyebabkan SCC  
Sumber : Pietro (2018:244)

*Stress corrosion cracking* mempunyai penampilan *brittle fracture* karena akibat dari proses korosi lokal. Ada dua jenis SCC, yaitu :

1. Intergranular, yang bergerak sepanjang *grain boundaries*
2. Transgranular, pergerakannya tidak nyata preferensi (pilihan) boundarynya



Gambar 2.27 Contoh retak (a) Transgranular, (b) Intergranular  
Sumber : Pietro (2018:248)

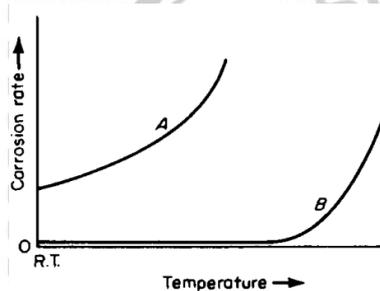
Mekanisme terjadinya SCC terdiri dari 3 tahap yaitu pertama, diawali dari tahap inisiasi (*crack initiation*) yang dimana pada tahap ini sudah ada bentuk kecacatan pada permukaan baik yang sudah ada sebelumnya atau *pit corrosion*. Kedua, tahap perambatan retak (*crack propagation*) yang dimana pada tahap ini terjadi kombinasi antar tegangan dan konsentrasi media agresif yang dapat memicu terjadinya pertumbuhan retak dimana lebih besar dari intensitas tegangan pada ujung retak. Dan ketiga, tahap final *mechanical failure* yang dimana pada tahap ini sudah terjadi kegagalan pada material. (Pietro, 2018:248)

### 2.7.3 Faktor Yang Mempengaruhi Terjadinya Korosi

Beberapa faktor lingkungan yang dapat mempengaruhi proses korosi secara umum antara lain, yaitu:

#### 1. Temperatur

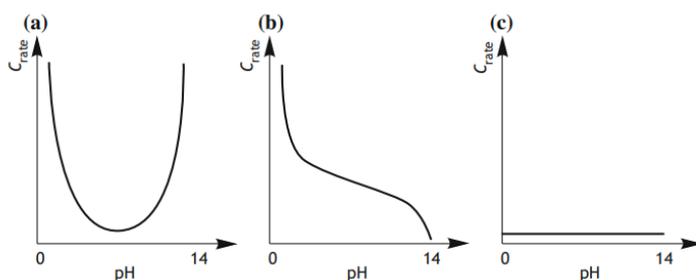
Kenaikan suhu akan menyebabkan bertambahnya kecepatan reaksi korosi. Hal ini terjadi karena makin tinggi suhu maka energi kinetik dari partikel-partikel yang bereaksi akan meningkat sehingga melampaui besarnya harga energi aktivasi dan akibatnya laju kecepatan reaksi (korosi) juga akan makin cepat, begitu juga sebaliknya. Dapat dilihat pada gambar 2.28 pada kurva A menunjukkan semakin tinggi temperatur laju korosi semakin cepat sedangkan pada kurva B menunjukkan pengaruh suhu yang hampir dapat diabaikan diikuti dengan peningkatan yang sangat cepat dalam laju korosi pada suhu yang lebih tinggi. (Fontana, 1986:26)



Gambar 2.28 Pengaruh temperatur terhadap laju korosi  
Sumber : Fontana (1986:26)

#### 2. PH (Potensial hidrogen)

Untuk berbagai logam, laju korosi sangat tergantung pada pH seperti yang ditunjukkan Fig. 2.29. pH dibawah 7 bersifat asam dan korosif. Pada kurva A menunjukkan logam amfoter seperti seperti AL, Zn, Pb, dan Sn mengalami korosi yang baik dalam larutan asam dan alkali. Pada kurva B menunjukkan untuk logam seperti Fe, Ni, Co, Cr, Mn, yang pasif dalam larutan PH netral atau lebih tinggi. Pada Kurva C menunjukkan untuk logam mulia seperti Au atau Pt yang tahan korosi baik dalam larutan asam maupun basa. (Pietro, 2018:126)

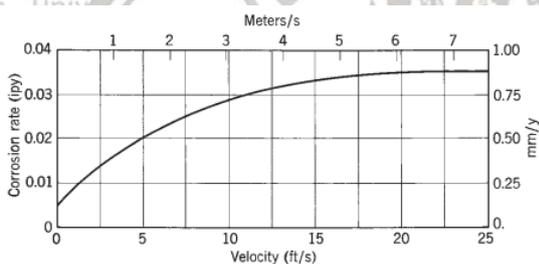


Gambar 2.29 Pengaruh PH terhadap laju korosi

Sumber : Pietro (2018:126)

### 3. Kecepatan Aliran

Salah satu faktor yang mempengaruhi korosi juga yaitu kecepatan aliran, jika kecepatan aliran semakin cepat maka akan merusak lapisan film pada logam maka akan mempercepat korosi karena logam akan kehilangan lapisan. Dapat ditunjukkan pada gambar 2.30 (Uhlig, 2008: 130)



Gambar 2.30 Pengaruh kecepatan aliran terhadap Korosi

Sumber : Uhlig (2008:130)

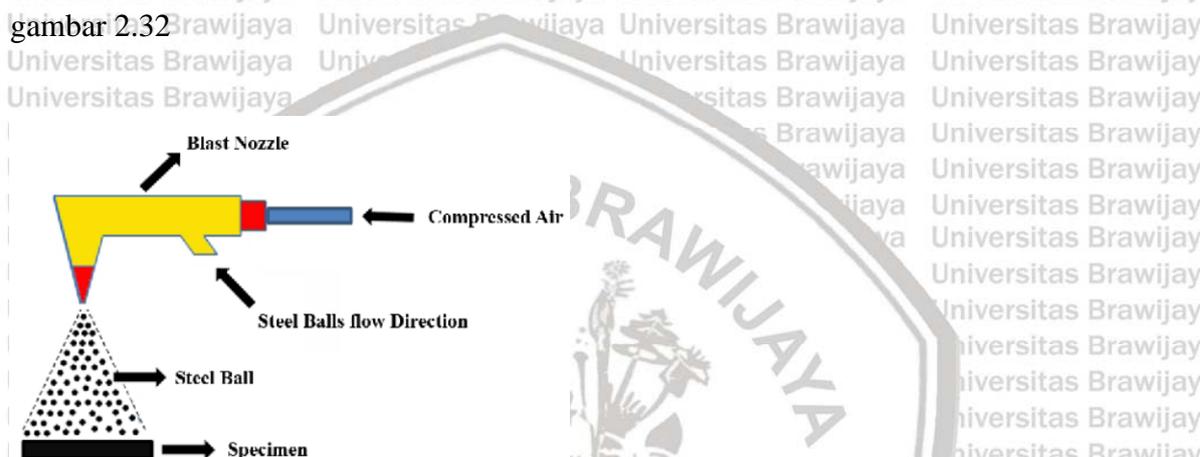
### 4. Kadar Oksigen dan Kelembapan Udara

Semakin tinggi kadar oksigen pada suatu tempat maka reaksi oksidasi akan mudah terjadi sehingga akan mempengaruhi laju reaksi korosi. (Utomo, 2009)

## 2.8 Shot Peening

*Shot peening* adalah proses penembakan permukaan material dengan bola bola baja berdiameter tertentu dan dengan tekanan tertentu sehingga terjadi deformasi plastis dan menimbulkan tegangan sisa tekan pada material. (Trung et al., 2018) *Shot peening* merupakan metode yang paling banyak digunakan untuk meningkatkan sifat mekanik material. Karena dengan adanya tumbukan dari bola bola baja akan menyebabkan permukaan material terdeformasi plastis dan timbul tegangan sisa tekan pada permukaan material. Dan retakan tidak akan mulai atau merambat di zona bertekanan tekan.

Dengan adanya tegangan sisa tekan yang ditimbulkan dari proses *shot peening* bermanfaat dalam meningkatkan ketahanan terhadap kegagalan kelelah *stress corrosion cracking*, retak yang dibantu hidrogen, *fretting*, dan erosi yang disebabkan oleh kavitasi serta menunda penyebaran retakan yang biasanya berawal dari permukaan dan menjadi sumber kegagalan. (Purohit et al., 2017) Hasil *shot peening* tergantung dari parameter yang digunakan misalnya jarak tembak, sudut tembak, waktu penembakan, tekanan yang digunakan, kecepatan alir tembakan dan diameter bola yang digunakan pada saat proses *shot peening*. Parameter *shot peening* disini juga berpengaruh terhadap struktur mikro material. (LIU et al., 2020) Untuk mekanisme proses *shot peening* dapat dilihat pada gambar 2.32



Gambar 2.31 Proses Shot Peening  
Sumber : Pramudia et al., (2019)

## 2.9 Hipotesis

Berdasarkan dari tinjauan pustaka yang telah dibahas, maka dari penelitian ini dapat ditarik hipotesis dimana muncul tegangan sisa tarik akibat adanya proses pengelasan yang mengakibatkan terjadinya korosi pada sambungan las pipa sehingga dengan adanya proses *shot peening* akan memberikan tegangan sisa tekan yang mengakibatkan menurunnya korosi yang terjadi pada sambungan las dan meningkatkan kekerasan pada sambungan las seiring dengan rendahnya jarak penembakan pada proses *shot peening*. Hal ini dikarenakan Dengan jarak penembakan yang lebih rendah akan menyebabkan intensitas penembakan pada sambungan las akan semakin tinggi sehingga tegangan sisa tekan yang diberikan juga tinggi.



*Halaman Ini Sengaja Dikosongkan*

## BAB III METODE PENELITIAN

### 3.1 Metode Penelitian

Pada penelitian ini menggunakan metode eksperimental dimana menggunakan mesin las SMAW untuk proses penyambungan dan untuk menganalisa pengaruh dari variasi jarak penembakan pada proses *shot peening* terhadap kualitas dari kekerasan sambungan las dan laju korosi pipa ASTM A 106 grade B.

### 3.2 Tempat dan Waktu Penelitian

Proses Pengelasan dilaksanakan pada Maret 2021 di LPKS Kampuh *Welding* Indonesia (Jl. Sawo VI No. 28 Sambikerep, Surabaya). Proses *shot peening* dilaksanakan pada Maret 2021 di Laboratorium Pengecoran Logam Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya. Pengujian kekerasan dilaksanakan Maret sampai April 2021 di Laboratorium Pengujian Material Jurusan Teknik Mesin Universitas Negeri Malang. Pengujian laju korosi dilaksanakan April 2021 di Laboratorium Pengecoran Logam Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya. Foto *Scanning Electron Microscope* (SEM) dilaksanakan Juni 2021 di Laboratorium Biologi Jurusan Biologi Universitas Muhammadiyah Malang. Pengujian Mikrostruktur dilaksanakan Maret 2021 di Laboratorium Uji Material Jurusan Teknik Mesin Universitas Merdeka Malang.

### 3.3 Variabel Penelitian

Terdapat tiga variabel dalam penelitian ini, yaitu variabel bebas, variabel terikat, dan variabel terkontrol.

#### 3.3.1 Variabel Bebas

Variabel bebas adalah variabel yang dipilih oleh peneliti sehingga tidak ada pengaruh lain. Variabel bebas yang digunakan adalah jarak tembak *shot peening* yaitu 6 cm, 8 cm, 10 cm, 12 cm, 14 cm.

#### 3.3.2 Variabel Terikat

Variabel terikat merupakan variabel yang nilainya dipengaruhi oleh variabel bebas. Variabel terikat yang digunakan pada penelitian ini adalah kekerasan dan laju korosi pada

sambungan las ASTM A106 grade B. Adapun penampakan visual berupa foto makrostruktur dan *scanning electron microscope* (SEM) sebagai data pendukung.

### 3.3.3 Variabel Terkontrol

Variabel terkontrol merupakan variabel yang nilainya dibuat konstan selama penelitian oleh peneliti. Variabel terkontrol yang digunakan antara lain:

WPS (*Welding Procedure Specification*) : Arus (50-80A)

Voltase (19-25V)

Posisi Pengelasan Pipa : 5G

Diameter *ball shot peening* : 3 mm

Tekanan kompresor : 8 bar

Waktu *shot peening* : 10 menit

Sudut *shot peening* : 90°

Larutan pengkorosi : *crude oil*

## 3.4 Alat dan Bahan Penelitian

### 3.4.1 Alat

Adapun peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

#### 1. Mesin Las ESAB MIG *Fabricator* 500P

Mesin Las ESAB MIG *Fabricator* 500P ditunjukkan dalam Gambar 3.1 merupakan jenis mesin las busur listrik yang digunakan untuk proses pengelasan pada pipa ASTM A 106 dalam penelitian ini.



Gambar 3.1 Mesin Las ESAB MIG *Fabricator* 500P

Sumber: LPKS Kampuh *Welding* Indonesia Surabaya (2021)

Berikut spesifikasi dari mesin las ESAB MIG *Fabricator 500P*:

- *Dimension (PxLxT) (mm)* : 785 x 330 x 666 mm
- *Weight (Kg)* : 59 Kg
- *Current Range (A)* : 30 – 500 A
- *Efficiency at Max. Current* : 91 %
- *Max. Output (A)* : 500 A
- *Max. Output (V)* : 40 V
- *Open Circuit Voltage (V)* : 86 V
- *Power Factor at Max. Current*: 0.92
- *Protection Glass* : IP23
- *Voltage Range (V)* : 15.5 – 50 V

## 2. Gerinda

Jenis Gerinda disini yaitu gerinda potong dimana digunakan untuk membuat *root opening* sebelum dilakukan proses pengelasan dan membersihkan terak. Dapat dilihat pada gambar 3.2



Gambar 3.2 Gerinda

Sumber : LPKS Kampuh *Welding* Indonesia Surabaya (2021)

## 3. Instalasi Alat *Shot Peening*

Instalasi alat untuk metode *shot peening* digunakan beberapa komponen pendukung yaitu kompresor pada gambar 3.3; *spray gun* dan selang dapat dilihat pada gambar 3.4



Gambar 3.3 Kompresor

Sumber: Laboratorium Pengecoran Logam Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya (2021)

Spesifikasi Alat:

Nama : MAHLE Druckluft D-7012 Fellbach th.1990-

Temperature : 50°

Kapasitas Maksimum Tabung : 350 L

Tekanan Maksimum : 11 Bar

Tenaga Mesin : 3.0 kW



Gambar 3.4 Spray Gun

Sumber : Laboratorium Pengecoran Logam Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya (2021)

#### 4. Stopwatch

*Stopwatch* merupakan alat yang digunakan untuk menghitung waktu pada proses *shot peening*. Dapat dilihat pada gambar 3.5



Gambar 3.5 Stopwatch

Sumber: Laboratorium Pengecoran Logam Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya (2021)

#### 5. *Microvickers EW-412AAT Hardness Testing Machine*

Alat ini digunakan untuk mengukur kekerasan dari suatu material. Dapat dilihat pada gambar 3.6



Gambar 3.6 Microvickers EW-412AAT Hardness Testing Machine

Sumber: Laboratorium Pengujian Material Teknik Mesin Universitas Negeri Malang (2021)

#### 6. *Scanning Electron Microscope (SEM)*

Alat ini digunakan untuk mengambil gambar SEM spesimen. Dapat dilihat pada gambar 3.7



*Gambar 3.7 Scanning Electron Microscope*

Sumber: Laboratorium Biologi Jurusan Biologi Universitas Muhammadiyah Malang (2021)

7. *Digital Microscope*

Alat ini digunakan untuk mengambil foto makro spesimen. Dapat dilihat pada gambar 3.8



*Gambar 3.8 Digital Microscope*

Sumber: Laboratorium Pengecoran Logam Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya (2021)

8. *Potentiostat/Galvanostat Instrument*

Alat ini digunakan untuk menghitung laju korosi pada material uji ditunjukkan pada gambar 3.9



Gambar 3.9 Potentiostat/Galvanostat Instrument

Sumber: Laboratorium Pengecoran Logam Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya (2021)

#### Measurement Specification:

- *Potential Range* : -5 V sampai +5V
- *Step Potential* : 0,076 mV sampai 250 mV
- *Pulse Potential* : 0,076 mV sampai 250 mV

#### General Specification

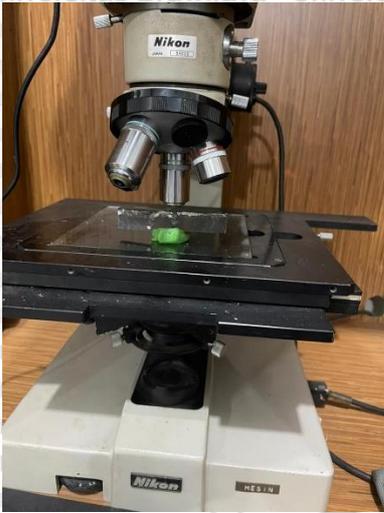
- *dc-potential range* : 10V atau ( $\pm 5V$ )
- *Compliance Voltage* : 10V
- *Max.current* : 30 mA
- *Max Aquisition range* : 150 data points/s

#### Potentiostat

- *applied dc-potential resolution* : 76.3  $\mu V$
- *applied potential accuracy* :  $\leq 0.1\% \pm 1 \text{ mV offset}$
- *current ranges* : 100 pA to 10 mA (9 ranges)
- *current accuracy* :  $\leq 0.1\%$  (at Full Scale Range)
- *measured current resolution* : 0.005 % of current range (5 fA on 100 pA range) 0.0025% of 10 mA range

## 9. Alat Uji Mikrostruktur

Menggunakan mikroskop optik untuk mengambil foto mikrostruktur dengan merk Nikon Type 59520 perbesaran 200x.



Gambar 3.10 Alat Uji Mikrostruktur

Sumber: Laboratorium Uji Material Jurusan Teknik Mesin Universitas Merdeka Malang (2021)

### 3.4.2 Bahan

#### 1. Pipa ASTM A106 grade B

Pipa ASTM A106 *Grade B* digunakan sebagai benda kerja pada penelitian ini dapat dilihat pada gambar 3.11. Komposisi kimia material dapat dilihat pada tabel 3.1



Gambar 3.11 Spesimen ASTM A106 grade B

Sumber: LPKS Kampuh Welding Indonesia Surabaya

#### *Mechanical Properties*

*Tensile Strength* : 480 MPa.

*Yield Strength* : 295 MPa.

Tabel 3.1

Komposisi Kimia Material Pipa ASTM A106 *Grade B*

C (%)	Mn (%)	P (%)	S (%)	Si (%)	Cr (%)	Cu (%)	Mo (%)	Ni (%)
0.20	0.41	0.025	0.011	0.21	0.018	0.011	0.001	0.04

Sumber: LPKS Kampuh Welding Indonesia Surabaya

## 2. *Crude Oil*

Gambar 3.12 merupakan minyak mentah yang digunakan sebagai media pengkorosi pada penelitian ini.



Gambar 3.12 *Crude Oil*

Tabel 3.2

Uji Analisis Kandungan *Crude Oil*

No.	Parameter	Hasil Analisis	
		Kadar	Satuan
1	S	616,08 ± 00	mg/kg
2	pH	7.37 ± 0,01	-

Tabel 3.3

Uji Analisis Kandungan Air *Crude Oil*

No.	Parameter	Hasil Analisis	
		Kadar	Satuan
1	S	424,88 ± 0,06	mg/kg
2	pH	7.81 ± 0,01	-

## 3. *Steel Ball*

Bola baja disini digunakan pada proses *shot peening* untuk ditembakkan pada permukaan spesimen uji yang sudah dilas. Dapat dilihat pada gambar 3.13



Gambar 3.13 Steel Ball

#### 4. Elektroda

Jenis Elektroda yang digunakan adalah AWS E7016 yang merupakan jenis elektroda baja karbon pelapis kalium hidrogen rendah dapat dilihat pada gambar 3.14.

Untuk komposisi kimia elektroda AWS E7016 dapat dilihat pada Tabel 3.2.



Gambar 3.14 Elektroda AWS E7016

Sumber: LPKS Kampuh Welding Indonesia Surabaya (2021)

Spesifikasi dari elektroda ASW E7016 adalah sebagai berikut :

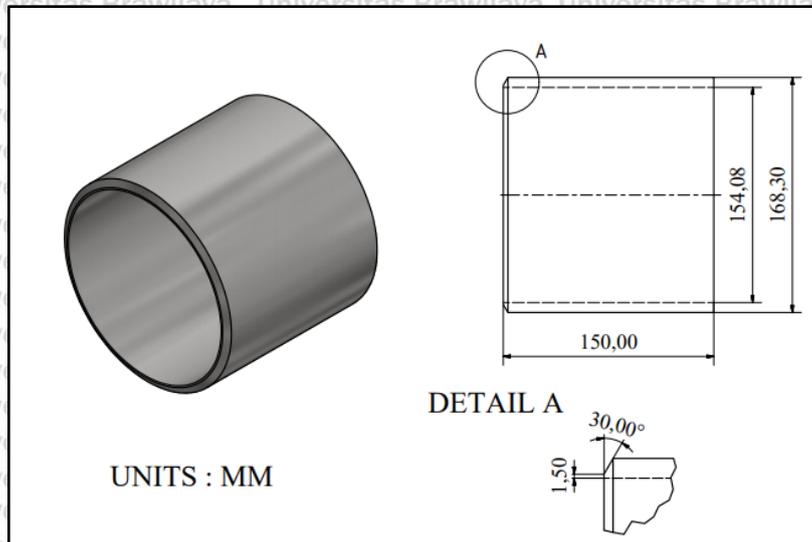
- Diameter (mm) : 2,5 mm
- Current (A) : 60 – 90 A

Tabel 3.4 Komposisi Kimia Elektroda AWS E7016

C (%)	Mn (%)	P (%)	S (%)	Si (%)
≤0.12	≤1.6	≤0.040	≤0.035	≤0.75

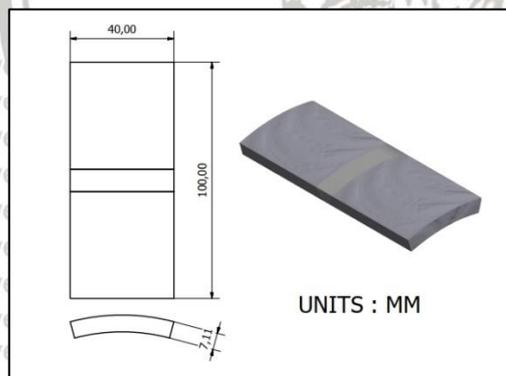
### 3.5 Dimensi Spesimen

1. Dimensi spesimen Pipa ASTM A106 Gr.B dengan ukuran 6" *schedule* 40 untuk proses pengelasan



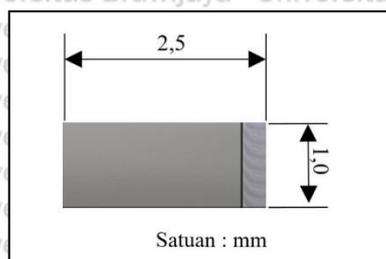
Gambar 3.15 Dimensi Spesimen Pengelasan

2. Dimensi Spesimen Proses *Shot Peening*



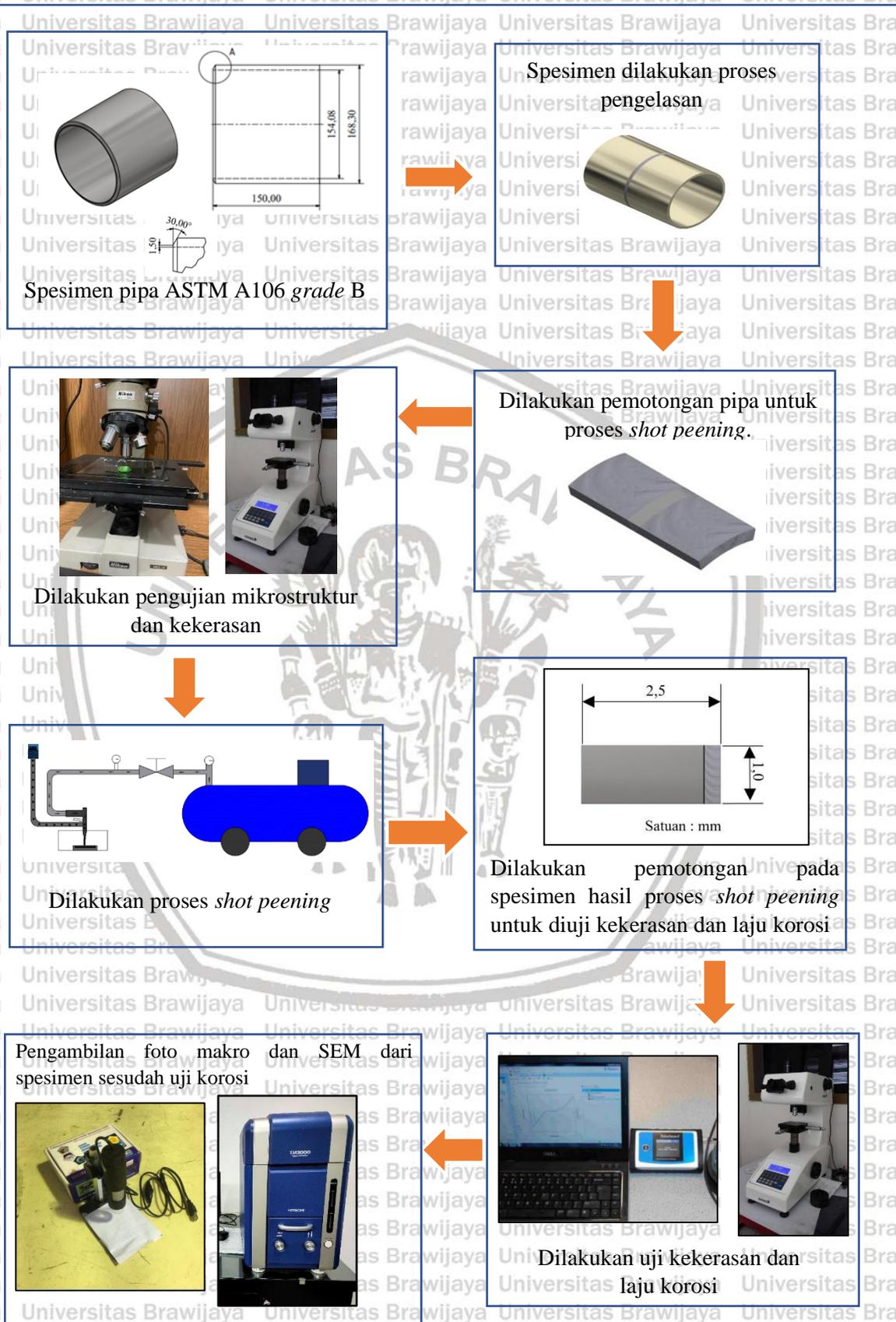
Gambar 3.16 Dimensi Spesimen Proses *Shot Peening*

3. Dimensi Spesimen Uji Kekerasan dan Laju Korosi



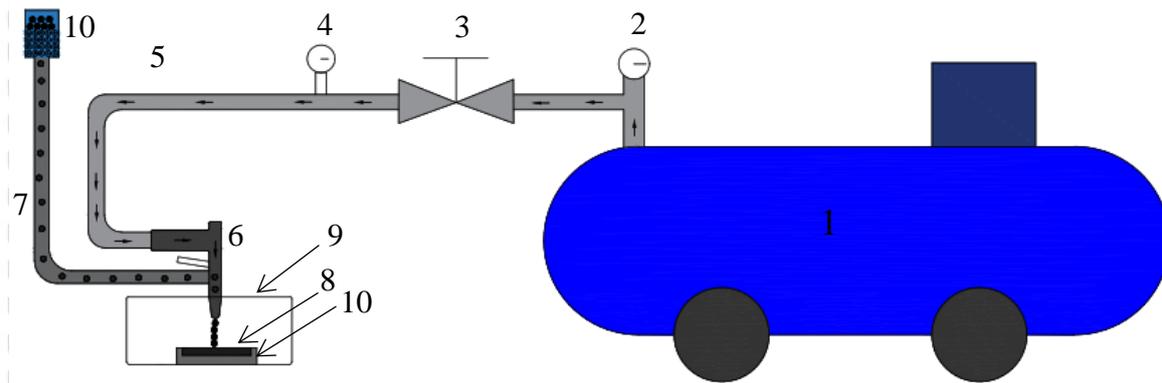
Gambar 3.17 Dimensi Spesimen Uji Kekerasan dan Laju Korosi

### 3.6 Skema Penelitian



Gambar 3.18 Skema Penelitian

### 3.6.1 Instalasi Proses *Shot Peening*



Gambar 3.19 Instalasi proses *shot peening*

Keterangan:

1. Tabung Kompresor
2. Regulator Kapasitas Tekanan Kompresor
3. Katup Pengatur Tekanan *Output* Kompresor
4. *Pressure Gauge*
5. Selang untuk mengalirnya udara menuju *spray gun*
6. *Spray gun* untuk mengalirnya *ball* bertekanan
7. Selang untuk mengalirkan bola
8. Spesimen Pipa ASTM A106 Grade B
9. Wadah/ Bak.
10. *Steel Ball*
11. Ragum

Dari Gambar 3.19 menjelaskan tentang skema penelitian proses *shot peening* yang dilakukan, dimulai dari menyalakan kompresor lalu mengatur tekanan udara yang keluar sebesar 8 bar dengan menggunakan katup pengatur tekanan *output* kompresor. Pada saat mengatur tekanan *output* pastikan kondisi *spray gun* terbuka, lalu memutar katup pengatur tekanan hingga pada regulator output menunjuk di angka 8 bar.

Setelah mengatur tekanan *output* 8 bar, maka siapkan spesimen dan diletakkan didalam bak, setelah itu masukkan *steel ball* kedalam wadah/ bak. Kemudian melakukan proses *shot peening* dengan cara mengatur jarak penembakan sesuai yang diinginkan dan pasang selang untuk mengalirkan bola baja.

Dengan penjelasan diatas proses *shot peening* pada awalnya berasal dari udara bertekanan yang keluar dari kompresor sebesar 8 bar, lalu udara yang bertekanan tersebut nantinya akan melalui *spray gun*, sebelumnya udara yang bertekanan akan melewati daerah dimana selang untuk mengalirkan bola berada, pada saat udara yang bertekanan melalui daerah tersebut *steel ball* akan ikut keluar melalui ujung *spray gun* secara bersamaan sehingga *steel ball* tersebut akan menumbuk permukaan spesimen ASTM A106 grade B.

### 3.7 Prosedur Penelitian

Langkah-langkah yang dilakukan pada penelitian ini adalah:

1. Melakukan pengelasan pada pipa baja ASTM A106 grade B dengan menggunakan las SMAW sesuai dengan WPS. Dan ukurannya 6" *schedule* 40,
2. Mempersiapkan alat dan bahan untuk proses *shot peening* dengan cara sebagai berikut:
  - a. Mempersiapkan spesimen uji yang sudah dilas untuk proses *shot peening*
  - b. Cekam spesimen pada ragum dan bersihkan permukaan hasil las yang akan di *shot peening*
  - c. Pasang selang pada *spray gun* untuk mengalirkan udara dan bola baja pada proses *shot peening*
3. Melakukan proses *shot peening* dengan cara sebagai berikut :
  - a. Menghidupkan kompresor sehingga tangki terisi udara dengan tekanan 8 bar
  - b. Memasukkan *steel ball* berdiameter 3 mm ke dalam selang pengalir bola.
  - c. Melakukan proses *shot peening* terhadap setiap variasi jarak 6 cm, 8 cm, 10 cm, 12 cm, 14 cm.
4. Setelah selesai melakukan proses *shot peening* lepas spesimen yang telah di *shot peening* dari ragum
5. Memotong spesimen menjadi ukuran 2,5 x 1 cm dengan menggunakan gergaji, Kemudian melakukan uji kekerasan pada spesimen dengan perlakuan *shot peening* dan spesimen hasil proses pengelasan tanpa perlakuan untuk mengetahui daerah las menggunakan mesin *microvickers hardness testing*.
6. Melakukan pengujian mikrostruktur pada spesimen hasil pengelasan tanpa perlakuan.
7. Melakukan proses pengujian foto makro, pengujian uji laju korosi, dan uji SEM (*Scanning Electron Microscope*)
8. Kemudian melakukan foto makro menggunakan mikroskop digital dengan perbesaran 25 kali.

9. Melapisi bagian dari spesimen yang tidak ikut diuji laju korosinya dengan menggunakan resin 73 yang tercampur dengan *hardener* dengan perbandingan 1:1. Sedangkan untuk daerah yang akan diuji korosi diberi plastisin lalu dilapisi isolasi plastik supaya tidak ikut terlapisi dengan lem, setelah kering lepas isolasi pada bagian spesimen yang dijadikan area untuk uji laju korosi. Sisakan sedikit bagian ujung dari spesimen untuk menjepit elektroda.
10. Siapkan spesimen untuk pengujian laju korosi dengan menggunakan larutan minyak mentah.
11. Setelah dilakukan uji korosi pada semua spesimen, selanjutnya yaitu mengambil foto *scanning electron microscope* pada spesimen hasil proses *shot peening* yang sudah diuji korosi dan dibandingkan dengan foto *scanning electron microscope* pada spesimen yang tidak diberi perlakuan.
12. Melakukan foto makro semua spesimen yang sudah diuji korosi dengan yang tidak diuji korosi untuk dilihat perbandingannya.
13. Yang terakhir yaitu menarik kesimpulan dari seluruh data yang sudah diperoleh dari masing- masing pengujian.

### 3.8 Prosedur Pengujian Spesimen

Pada spesimen yang telah dilakukan proses pengelasan dan *shot peening* selanjutnya dilakukan beberapa pengujian pada spesimen dengan langkah-langkah sebagai berikut :

#### 1. Pengujian Kekerasan

1. Menyiapkan ukuran spesimen yang akan digunakan pada pengujian.
2. Gunakan resin untuk melapisi permukaan yang tidak diuji.
3. Amplas dan bersihkan permukaan uji menggunakan kain lap dan autosol.
4. Siapkan indentor piramida intan.
5. Kalibrasi alat uji.
6. Lakukan pengujian kekerasan.

#### 2. Pengambilan foto makro spesimen dengan menggunakan mikroskop *digital*.

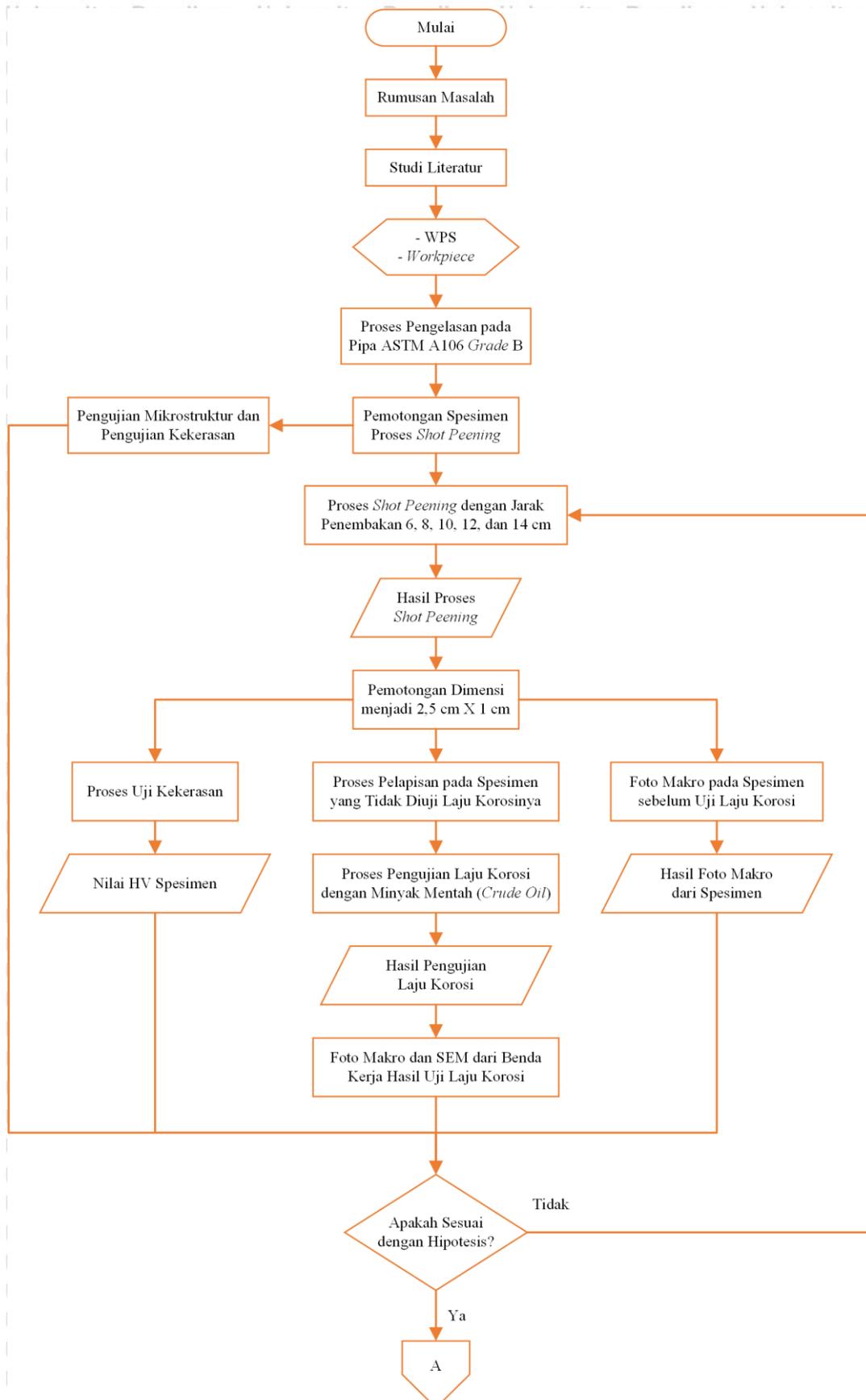
1. Melakukan *setting* alat pada komputer.
2. Menentukan skala perbesaran yang digunakan dengan menggunakan millimeter blok.
3. Ambil gambar pada masing-masing spesimen.

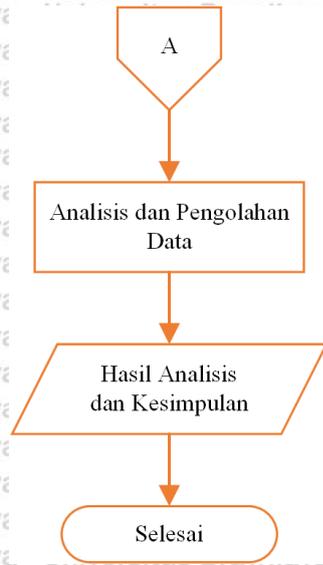
#### 3. Pengujian Mikrostruktur

1. Memotong spesimen *welding* tanpa perlakuan sesuai ukuran

2. Lalu amplas dan diberitikan nital sebagai etsa pada spesimen
  3. Pasang spesimen pada meja mikroskop optik
  4. Siapkan laptop dan atur perbesaran 200x
  5. Mencari butiran pada spesimen dan ambil fotonya
  6. Simpan foto dan cetak foto
  7. Lalu matikan mikroskop
4. Pengujian laju korosi.
    1. Mempersiapkan seluruh peralatan dan spesimen yang akan diuji.
    2. Menyiapkan larutan minyak mentah sebagai media pengkorosi.
    3. Meletakkan spesimen pada alat pengujian laju korosi.
    4. Atur seluruh parameter yang digunakan pada pengujian laju korosi sesuai yang telah ditentukan.
    5. Seluruh kabel yang tersedia pada alat pengujian korosi disambungkan dengan *personal computer*.
    6. Melakukan pengukuran dan mencatat laju korosi yang terjadi pada masing-masing spesimen uji.
  5. Pengambilan foto spesimen dengan menggunakan mikroskop *scanning electron microscope*.
    1. Posisikan spesimen dengan ukuran diagonal maksimal 5 x 5 (cm) pada *specimen stage*.
    2. Melakukan pengambilan foto spesimen.
    3. Observasi selesai.

### 3.9 Diagram Alir Peneliti





Gambar 3.20 Diagram Alir Penelitian

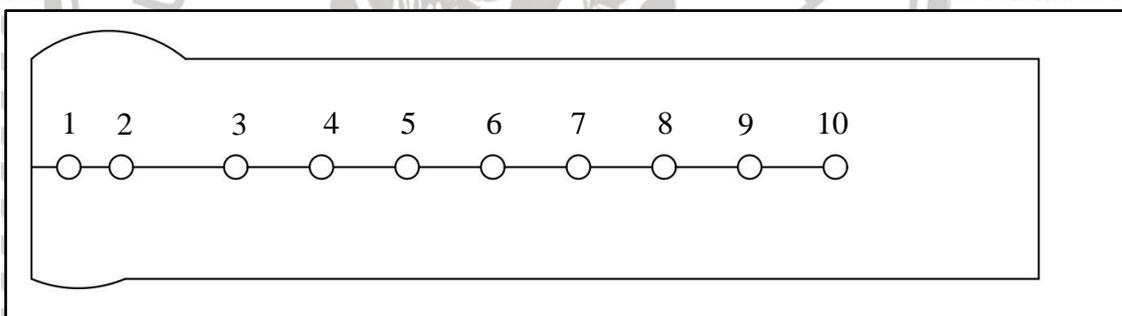


## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Data Hasil Pengujian

#### 4.1.1 Data Hasil Pengujian Material Pipa ASTM A 106 grade B

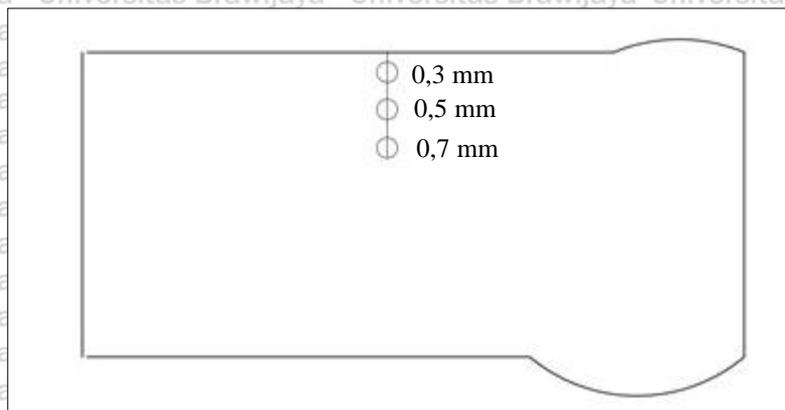
Setelah dilakukannya proses pengelasan pada pipa ASTM A 106 grade B kemudian dilakukan proses pengujian kekerasan dengan menggunakan *microvickers* dengan *force* sebesar 500 gram *dwell* selama 10 detik pada sambungan las untuk mengetahui daerah las diantaranya *weld metal*, *HAZ (Heat Affected Zone)*, dan *Base Metal*. Didapatkan nilai kekerasannya pada Tabel 4.1. Untuk titik - titik pengujian kekerasan diambil 10 titik dapat dilihat pada gambar 4.1. Kemudian dilakukan proses *shot peening* dengan variasi jarak penembakan terhadap daerah HAZ pada sambungan las pipa ASTM A 106 grade B, dan didapatkan nilai kekerasan dari masing - masing variasi jarak penembakan dengan proses *shot peening* pada Tabel 4.2. Untuk titik - titik pengujian kekerasan dapat dilihat pada gambar 4.2



Gambar 4.1 Titik – Titik Posisi Pengujian Kekerasan Daerah Las

Tabel 4.1  
Data Hasil Pengujian Kekerasan pada Sambungan Las Pipa ASTM a106 grade B

Titik	Jarak dari Pusat Hasil Lasan (mm)	Nilai Kekerasan (HV)
1	3	237,4
2	6	238,1
3	11	220,6
4	16	217,9
5	21	211,3
6	26	214,2
7	31	210,8
8	36	208,3
9	41	203,5
10	46	204,7



Gambar 4.2 Titik – Titik Posisi Pengujian Kekerasan Setelah Proses *Shot Peening*

Tabel 4.2  
Data Hasil Pengujian Kekerasan Setelah Proses *Shot Peening*

No	Jarak Penembakan (cm)	Jarak dari permukaan material (mm)	Nilai Kekerasan (HRC)
1	6	0,3	341,8
		0,5	325,2
		0,7	308,7
2	8	0,3	293
		0,5	285,4
		0,7	267,5
3	10	0,3	261,3
		0,5	247,7
		0,7	242,8
4	12	0,3	241,2
		0,5	231,4
		0,7	225,7
5	14	0,3	226,8
		0,5	224
		0,7	223
6	<i>Raw Material</i>	0,3	196,9
		0,5	188,6
		0,7	186,1

Selain hasil pengujian kekerasan, juga didapatkan hasil pengujian laju korosi dari masing - masing variasi jarak penembakan *shot peening* pada daerah las pipa ASTM a106 grade B. yang dapat dilihat pada Tabel 4.3 dibawah ini.

Tabel 4.3

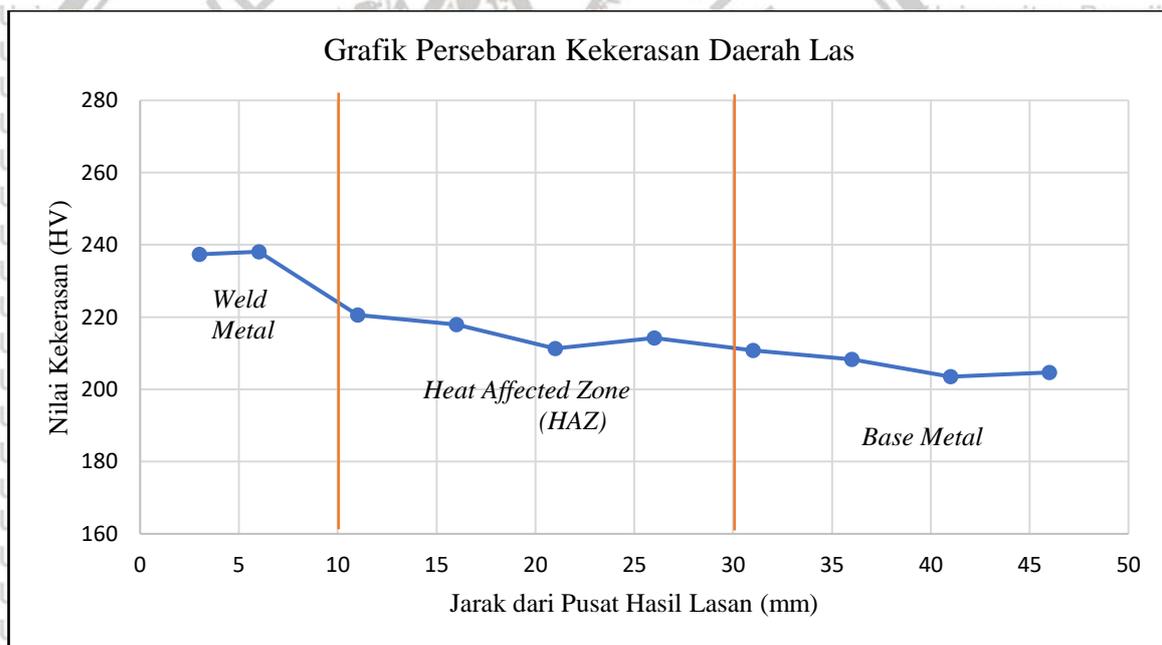
Hasil Pengujian Laju Korosi pada Sambungan Las Pipa ASTM a106 grade B

No	Metode Pengujian	Jarak Penembakan (cm)	Corrosion Rate (mm/year)
1	<i>Raw Material</i>	-	1,027
2		6	0,090
3		8	0,144
4	<i>Shot Peening</i>	10	0,440
5		12	0,616
6		14	0,886

## 4.2 Data Hasil Pengolahan Grafik Kekerasan Permukaan dan Laju Korosi

### 4.2.1 Grafik Persebaran Kekerasan Daerah Las

Setelah dilakukan proses pengelasan pada Pipa ASTM a 106 grade B kemudian dilakukan pengujian kekerasan dan didapatkan nilai kekerasannya sesuai dengan tabel 4.1, sehingga didapatkan grafik kekerasan pada sambungan las pipa ASTM a 106 grade B seperti dibawah ini:



Gambar 4.3 Grafik Persebaran Kekerasan Daerah Las

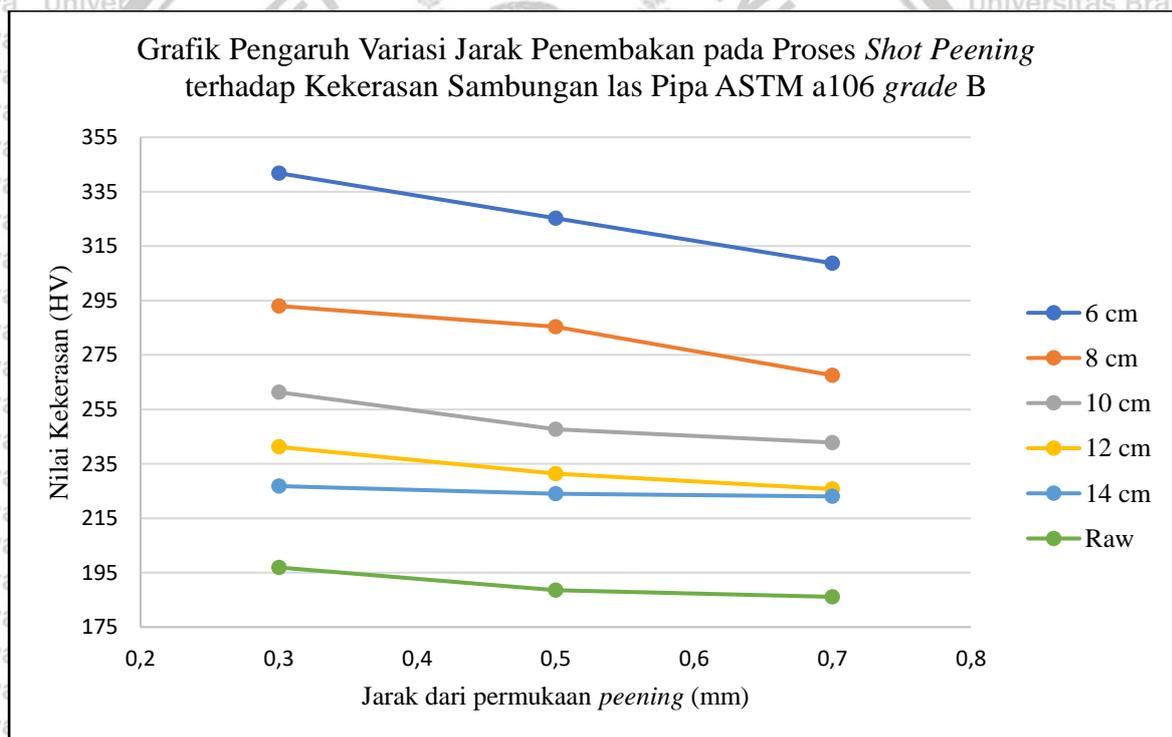
### 4.2.2 Analisis dan Pembahasan Grafik Persebaran Kekerasan Daerah Las

Gambar 4.3 merupakan grafik nilai kekerasan dari jarak pusat hasil sambungan las pipa ASTM a 106 grade B. Pada grafik tersebut terdapat 10 titik yang diuji untuk mengetahui persebaran kekerasan daerah las yang meliputi *weld metal*, *heat affected zone* (HAZ), dan *Base Metal*. Pada titik 1-2 merupakan titik kekerasan paling tinggi yang dinamakan *weld metal*, kemudian pada titik 3 – 6 merupakan daerah *heat affected zone* (HAZ) dimana

kekerasannya menurun dikarenakan adanya siklus panas yang berlebihan sehingga menyebabkan butiran pada daerah HAZ lebih melebar. Oleh karena itu nilai kekerasan pada daerah HAZ menurun lebih rendah daripada *weld metal*. Dan pada titik 7-10 nilai kekerasannya pada material lebih rendah lagi dinamakan *base metal*. Dengan kita mengetahui titik persebaran grafik kekerasan disini kita dapat mengetahui daerah las dan menggunakannya sebagai acuan dalam proses *shot peening* terhadap material. (Silva, et al, 2016)

#### 4.2.3 Grafik Pengaruh Variasi Jarak Penembakan pada Proses *Shot Peening* terhadap Kekerasan Sambungan las Pipa ASTM a106 grade B

Dari data hasil pengujian yang tercantum pada tabel 4.2 di atas, maka didapatkan grafik pengaruh variasi jarak penembakan pada proses *shot peening* terhadap kekerasan sambungan las Pipa ASTM a106 grade B seperti dibawah ini:



Gambar 4.4 Grafik Pengaruh Variasi Jarak Penembakan pada Proses *Shot Peening* terhadap Kekerasan Sambungan Las Pipa ASTM a106 grade B

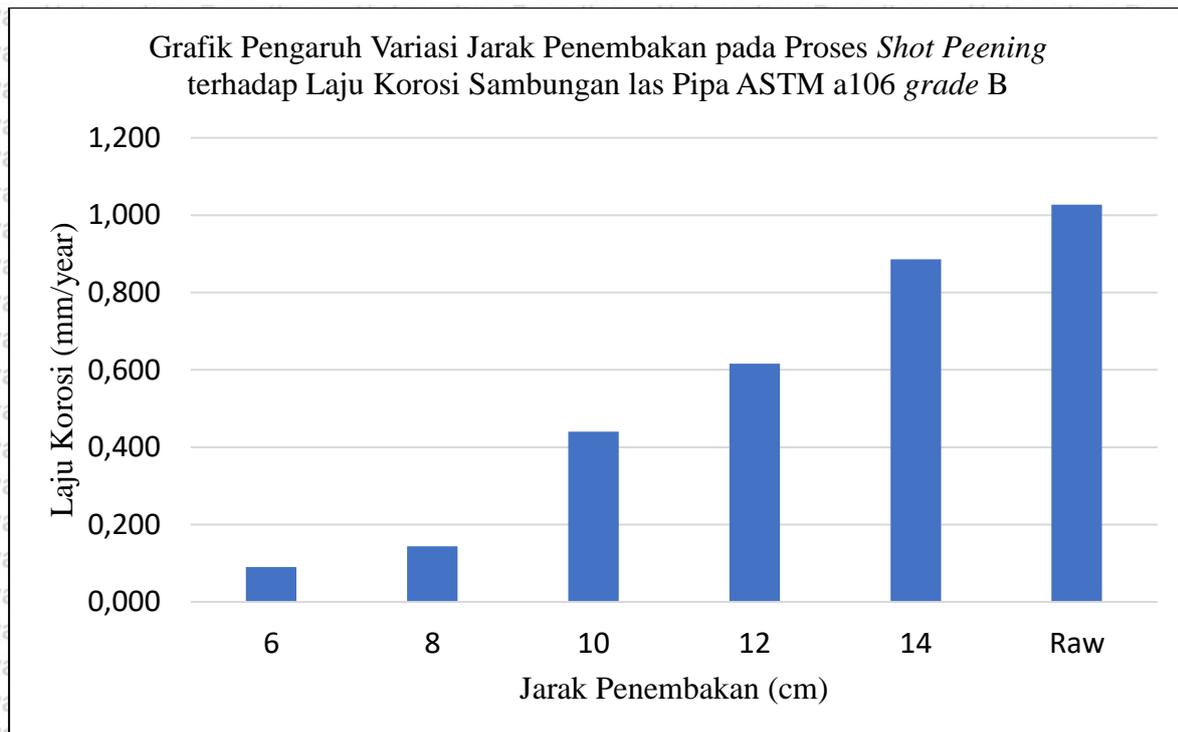
#### 4.2.4 Analisis dan Pembahasan Grafik Pengaruh Variasi Jarak Penembakan pada Proses *Shot Peening* terhadap Kekerasan Sambungan las pipa ASTM a106 grade B

Gambar 4.4 merupakan grafik pengaruh variasi jarak penembakan pada proses *shot peening* terhadap kekerasan sambungan las pipa ASTM a106 grade b. Dari grafik diatas dapat dilihat bahwa jarak penembakan memengaruhi terhadap nilai kekerasan mikro pada permukaan benda uji dimana nilai kekerasan yang paling tinggi terdapat pada jarak 6 cm yaitu sebesar 341,8 HV. Lalu menurun pada jarak penembakan 8 cm, yaitu sebesar 293 HV. Kemudian menurun lagi pada jarak penembakan 10 cm yaitu sebesar 261,3 HV. Dan pada jarak penembakan 12 cm yaitu sebesar 241,2 HV. Dan yang terakhir yang paling rendah yaitu sebesar 226,8 HV. Dan untuk *raw material* tanpa perlakuan nilai kekerasannya yaitu sebesar 196,9 HV.

Jadi dapat disimpulkan dari grafik diatas semakin jauh jarak penembakan pada proses *shot peening*, maka nilai kekerasan semakin berkurang. Dimana hal ini dikarenakan semakin jauh jarak tembakan menyebabkan semakin rendah juga intensitas tembakan karena jarak bola yang dibutuhkan untuk mencapai permukaan spesimen juga semakin jauh. (Kondi Maliwemu et al., 2018) Sebaliknya jika dengan jarak penembakan lebih rendah maka intensitas tembakan akan semakin tinggi yang akan menyebabkan deformasi plastis yang tinggi pula pada material. Dimana dengan deformasi plastis yang tinggi akan meningkatkan kekerasan dari suatu material. Dengan jarak penembakan yang lebih rendah juga dapat meningkatkan kekerasan lapisan kerja yang lebih dalam dikarenakan kecepatan tumbukan antar bola baja dan permukaan material juga lebih tinggi. (Iswanto et al, 2018) Dari grafik juga didapatkan bahwa nilai kekerasan tertinggi berada di permukaan material kemudian menurun seiring dengan meningkatnya kedalaman pada material. (Mahagaonkar et al, 2008)

#### 4.2.5 Grafik Pengaruh Variasi Jarak Penembakan pada Proses *Shot Peening* terhadap Laju Korosi Sambungan Las Pipa ASTM a106 grade B

Dari data hasil pengujian laju korosi pada tabel 4.3 diatas, maka didapatkan grafik pengaruh variasi jarak penembakan pada proses *shot peening* terhadap laju korosi sambungan las pipa ASTM a 106 grade B seperti dibawah ini:



*Gambar 4.5* Grafik Pengaruh Variasi Jarak Penembakan pada Proses *Shot Peening* terhadap Laju Korosi Sambungan Las Pipa ASTM a 106 grade B

#### **4.2.6 Analisis dan Pembahasan Grafik Pengaruh Variasi Jarak Penembakan pada Proses *Shot Peening* terhadap Laju Korosi Sambungan las Pipa ASTM a106 grade B**

Gambar 4.5 diatas merupakan grafik hubungan pengaruh variasi jarak penembakan pada proses *shot peening* terhadap laju korosi sambungan las pipa ASTM a 106 grade B. Dari grafik tersebut dapat dilihat bahwa nilai laju korosi tertinggi yaitu pada *raw* material atau sebelum dilakukan proses *shot peening* yaitu sebesar 1,027 mm/year. Setelah dilakukan proses *shot peening* nilai laju korosi mengalami penurunan seiring dengan rendahnya jarak penembakan pada proses *shot peening* yang terlihat pada grafik diatas. Untuk nilai laju korosi terendah pada grafik ini yaitu pada variasi jarak penembakan 6 cm sebesar 0,090 mm/year. Kemudian meningkat pada variasi jarak penembakan 8 cm yang mempunyai nilai laju korosi sebesar 0,144 mm/year. Pada variasi jarak penembakan 10 cm mengalami peningkatan juga sebesar 0,440 mm/year. Kemudian pada variasi jarak penembakan 12 cm juga mengalami peningkatan lagi yaitu sebesar 0,616 mm/year. Dan untuk nilai laju korosi tertinggi terdapat pada variasi jarak penembakan 14 cm dapat dilihat pada grafik yaitu sebesar 0,886 mm/year.

Berdasarkan pada grafik diatas juga dapat dilihat bahwa jarak penembakan pada proses *shot peening* berpengaruh terhadap laju korosi pada sambungan las pipa ASTM a 106 grade

B dimana semakin rendah jarak penembakan pada proses *shot peening* laju korosi pada material semakin rendah. Hal ini dikarenakan dengan jarak semakin rendah maka intensitas penembakan semakin besar sehingga tegangan sisa tekan yang diberikan kepada material juga tinggi. Ketika tegangan sisa tekan tinggi maka dapat memperbaiki butiran pada permukaan material sehingga dapat mengurangi laju korosi pada material. (Mahagaonkar *et al*, 2008). Jarak penembakan disini dapat mempengaruhi peningkatan energi kinetik. Dengan jarak penembakan yang rendah maka kecepatan tumbukan pada material semakin tinggi yang dimana dapat meningkatkan kedalaman lapisan pengerasan kerja dan menyebabkan derajat deformasi plastis serta penetrasi dalam spesimen meningkat secara signifikan. Oleh karena itu dengan jarak penembakan yang lebih rendah maka material lebih tahan terhadap korosi. (Iswanto *et al*, 2018)

### 4.3 Data Hasil Pengujian Mikrostruktur

#### 4.3.1 Gambar Hasil Pengujian Mikrostruktur Pada Sambungan Las SMAW Pipa ASTM A 106 Grade B

Berikut didapatkan foto mikrostruktur daerah las tanpa perlakuan, dapat dilihat pada gambar dibawah ini:



Gambar 4.6 Hasil Pengujian Mikrostruktur Pada Sambungan Las SMAW Pipa ASTM A 106 Grade B, Daerah Las yaitu: a. *Weld Metal*, b. *Heat Affected Zone (HAZ)*, c. *Base Metal*

#### 4.3.2 Analisis Hasil Pengujian Mikrostruktur Pada Sambungan Las SMAW Pipa ASTM A 106 Grade B

Gambar 4.6 menunjukkan foto hasil uji mikrostruktur pada sambungan las SMAW pipa ASTM A 106 grade b menggunakan mikroskop optik merk Nikon tipe 59520 dengan perbesaran 200x, yang dietsa menggunakan nital (95 ml alkohol + 5 ml HNO<sub>3</sub>).

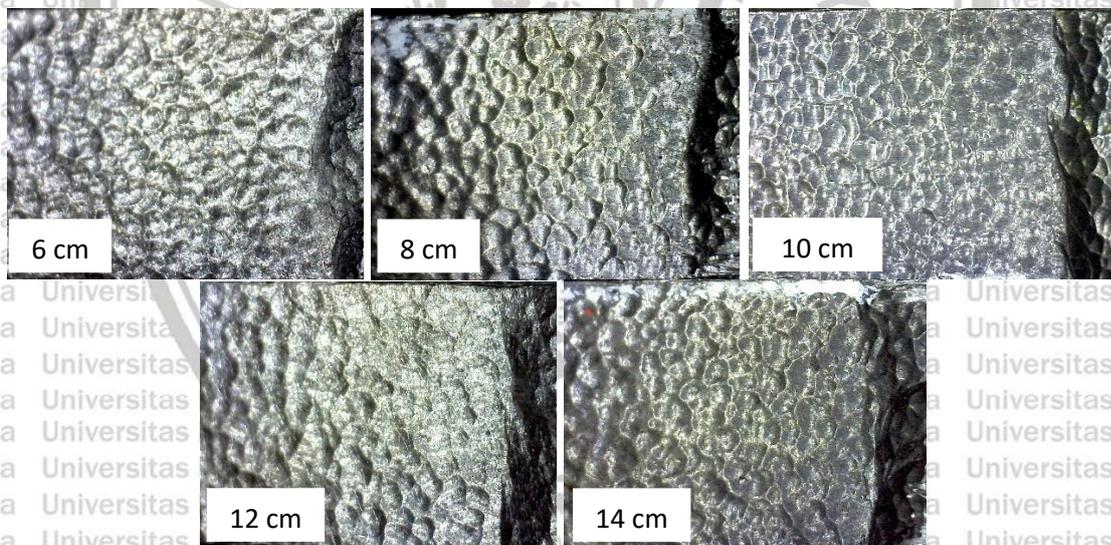
Pada Gambar 4.6 dapat dilihat bahwa kekerasan paling tinggi terdapat pada *weld metal*, lalu daerah *heat affected zone (HAZ)* dan base metal paling rendah tingkat kekerasannya. Hal ini dikarenakan pada foto mikrostruktur daerah *weld metal* terbentuk struktur mikro

*acicular ferrite* dan *pearlite*. *Acicular ferrite* terbentuk disebabkan oleh fasa *austenite* yang mengalami perubahan pada proses pendinginan yang cepat di daerah HAZ sehingga strukturmikro *ferrite* tidak sempurna dan membentuk butir yang tajam. Kemudian pada daerah HAZ terbentuk *pearlite* halus namun didominasi oleh *ferrite* dan untuk *base metal* didominasi oleh *ferrite* karena pada *base metal* tidak terpengaruh panas dari hasil proses pengelasan. *Ferrite* bersifat lunak dan memiliki warna terang, sedangkan *pearlite* bersifat keras dan cenderung memiliki warna gelap. (Silva et al., 2009) Hasil foto mikrostruktur ini dijadikan data pendukung dari hasil pengujian kekerasan pada daerah las yang meliputi daerah *weld metal* yang memiliki kekerasan tertinggi, kemudian daerah *heat affected zone* (HAZ), dan kekerasan terendah yaitu *base metal*.

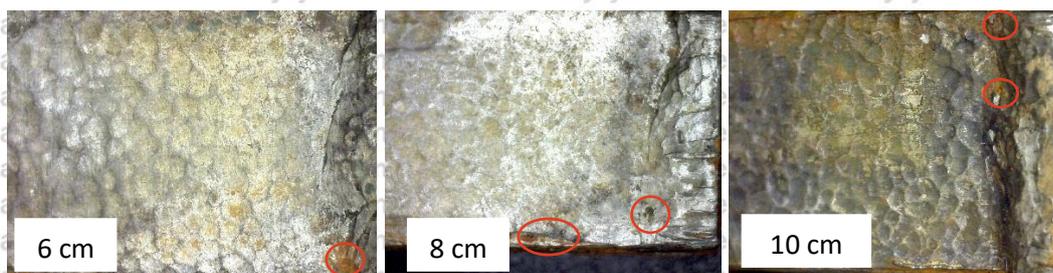
#### 4.4 Data Hasil Foto Makro Spesimen

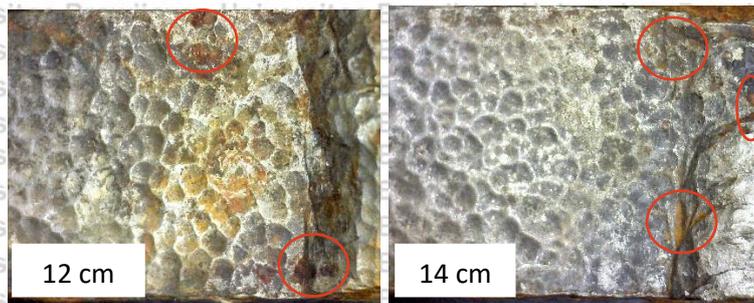
##### 4.4.1 Gambar Hasil Foto Makro Spesimen

Dengan menggunakan mikroskop digital didapatkan foto makro spesimen dari beberapa variasi jarak penembakan pada proses *shot peening*. Dapat dilihat pada gambar dibawah ini:



Gambar 4.7 Foto Makro Spesimen dengan Variasi Jarak Penembakan pada Proses *Shot Peening* Sebelum Dilakukan Pengujian Korosi





Gambar 4.8 Foto Makro Spesimen dengan Variasi Jarak Penembakan pada Proses *Shot Peening* Setelah Dilakukan Pengujian Korosi

#### 4.4.2 Analisis Gambar Hasil Foto Makro Spesimen

Gambar 4.7 yaitu hasil foto makro mikroskop digital dengan perbesaran 25x pada spesimen dengan variasi jarak penembakan pada proses *shot peening* sebelum dilakukan uji korosi. Dari gambar tersebut jarak penembakan yang digunakan yaitu mulai dari jarak penembakan 6 cm, 8 cm, 10 cm, 12 cm, sampai jarak penembakan 14 cm. dan terlihat pada gambar semakin rendah jarak penembakan *dimple* yang terbentuk lebih banyak dan rata setelah dilakukan proses *shot peening*. Hal ini menunjukkan butiran pada permukaan material mengalami perbaikan atau semakin rapat.

Sedangkan pada gambar 4.8 menunjukkan hasil foto makro mikroskop digital dengan perbesaran 25x pada spesimen dengan variasi jarak penembakan pada proses *shot peening* setelah dilakukan uji korosi. Jika dibandingkan foto makro antara gambar yang sesudah dilakukan uji korosi dengan sebelum dilakukan uji korosi, maka terdapat perbedaan, dimana pada spesimen setelah dilakukan uji korosi terlihat jelas terdapat titik-titik rongga berlubang pada permukaan material yang merupakan fenomena awal mulanya terjadi korosi yang tidak dimiliki atau tidak tampak pada gambar sebelumnya. Dapat dilihat pada gambar diatas dengan jarak semakin jauh maka titik rongga berlubang semakin banyak. Dan pada gambar diatas spesimen dengan jarak penembakan 6 cm tampak tidak terlihat rongga berlubang dibandingkan dengan variasi jarak penembakan yang lain. Sehingga penampakan visual berupa foto makro spesimen dengan variasi jarak penembakan pada proses *shot peening* setelah dilakukan uji laju korosi ini juga menjadi data pendukung dari pernyataan bahwa semakin rendah jarak penembakan pada proses *shot peening* maka semakin menurun laju korosi yang terjadi pada material tersebut. (Kondi Maliwemu et al., 2018)

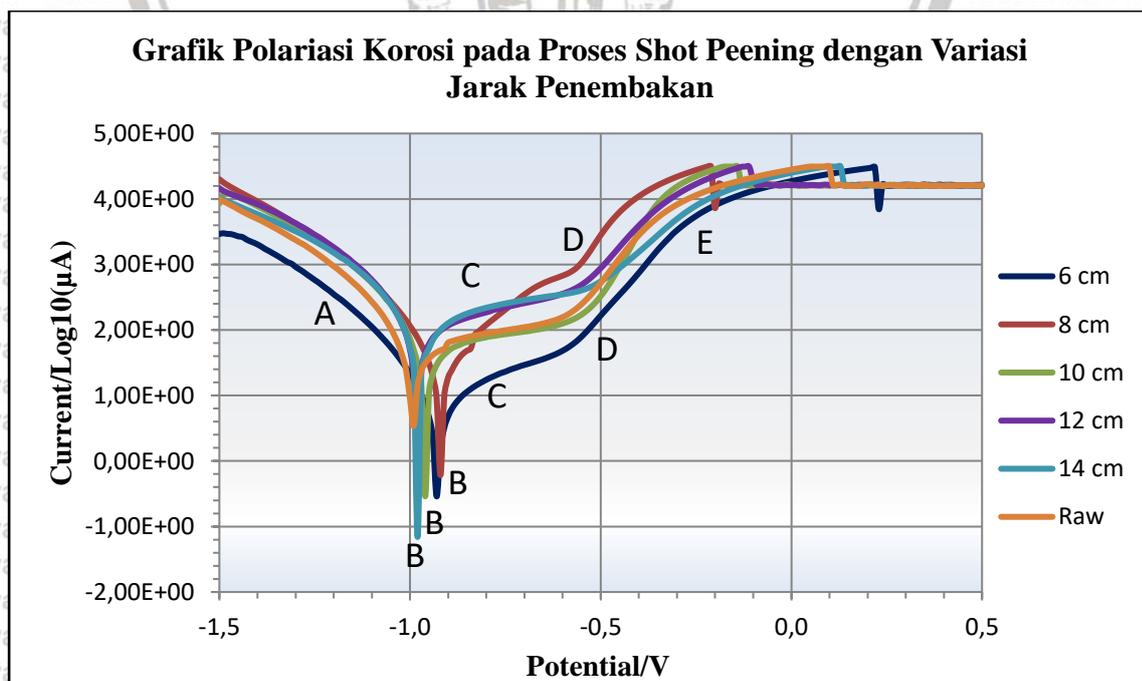
## 4.5 Data Hasil Pengolahan Grafik Polarisasi dari Pengujian Laju Korosi Spesimen

### 4.5.1 Data Hasil Pengolahan Grafik Polarisasi Laju Korosi pada Proses *Shot Peening* dengan Variasi Jarak Penembakan

Dari hasil pengujian laju korosi ini menggunakan 3 buah elektroda, yaitu: *counter electrode*; *working electrode*; serta *reference electrode* pada setiap spesimen dengan variasi jarak penembakan, dan *crude oil* sebagai larutan pengkorosinya. Maka didapatkan hasil data berupa tabel 4.4 dan grafik polarisasi seperti dibawah ini:

Tabel 4.4  
Nilai Karakteristik dari Hasil Pengujian Laju Korosi Sambungan Las SMAW Pipa ASTM A106 Grade B

Keterangan	$\beta$ anodic (V/decade)	$\beta$ catodic (V/decade)	E <sub>corr</sub> (V)	I <sub>corr</sub> ( $\mu$ A)	I <sub>corr</sub> / surface area (A/cm <sup>2</sup> )	Corrosion Rate (mm/year)
Raw	0.564	0.320	-0.958	203.6	$8.703 \times 10^{-5}$	1.027
6 cm	2.684	0.218	-0.930	19.07	$7.660 \times 10^{-6}$	0.090
8 cm	0.270	0.130	-0.920	33.15	$1.219 \times 10^{-5}$	0.144
10 cm	8.733	0.143	-0.960	77.10	$3.724 \times 10^{-5}$	0.440
12 cm	0.818	0.153	-0.980	127.4	$5.222 \times 10^{-5}$	0.616
14 cm	3.459	0.200	-0.980	192.9	$7.056 \times 10^{-5}$	0.886



Gambar 4.9 Grafik Polarisasi Korosi pada Proses *Shot Peening* dengan Variasi Jarak Penembakan

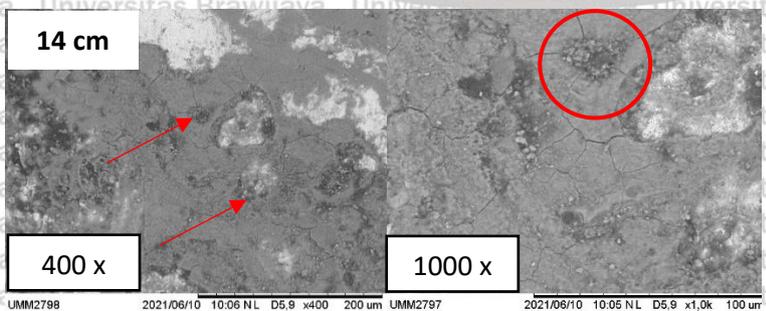
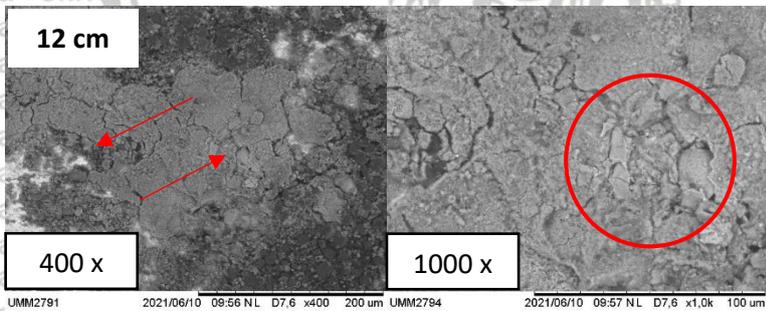
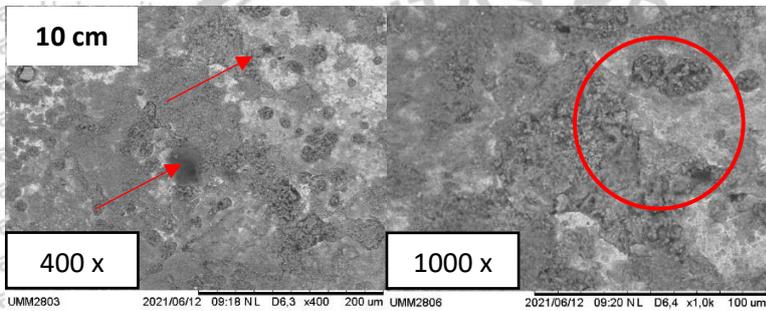
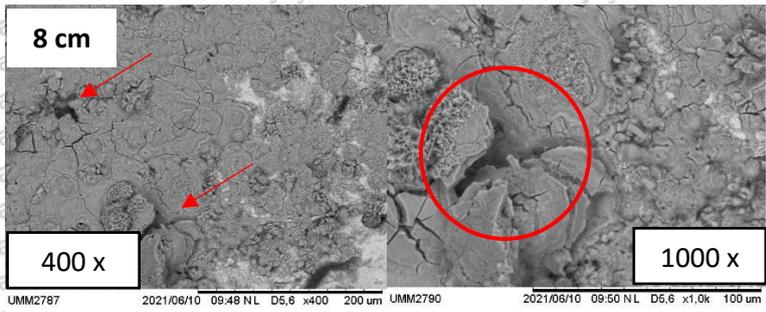
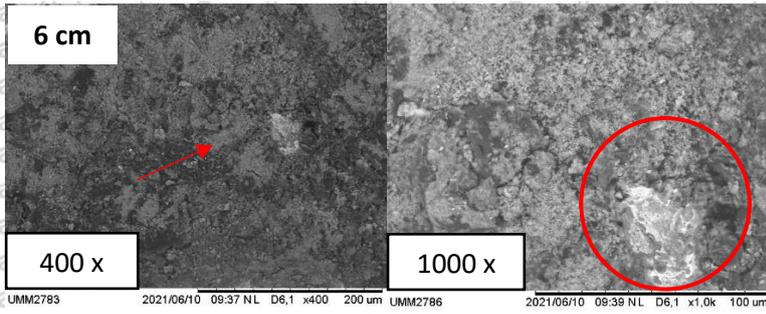
#### 4.5.2 Analisis Grafik Polarisasi Laju Korosi pada Proses *Shot Peening* dengan Variasi Jarak Penembakan

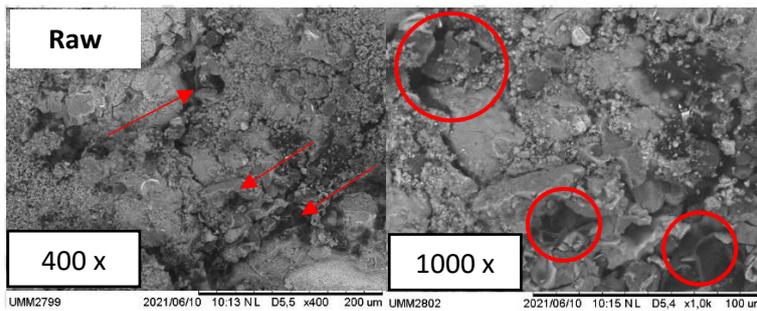
Gambar 4.9 merupakan grafik polarisasi laju korosi pada proses *shot peening* dengan variasi jarak penembakan. Grafik polarisasi korosi diatas menunjukkan hubungan kerapatan arus dan fungsi potensial selama korosi. Kurva polarisasi sendiri dibagi menjadi anodik dan katodik dan merupakan hasil plot potensial elektroda terhadap fungsi kerapatan arus untuk kombinasi elektroda-elektrolit tertentu. (Perez, 2004:172) Pada gambar diatas terlihat, bahwa grafik polarisasi korosi dibagi menjadi beberapa daerah. Daerah A-B yaitu daerah dimana potensial yang diberikan tidak berpengaruh pada material dan masih dalam kondisi daerah aktif atau bebas dari lapisan pasif. Di daerah ini terjadi potensial katodik. Pada titik B didefinisikan oleh dua nilai, rapat arus kritis untuk pasivasi, atau potensial bebas pada keseimbangan. Daerah B – C masih belum terjadi lapisan pasivasi karena material masih belum mencapai potensial yang dibutuhkannya. Kemudian pada potensial-potensial lebih positif dari B, laju korosi meningkat dan mencapai maksimum pada potensial pasif C. Titik C adalah titik dimana material tersebut sudah mencapai tahap lapisan pasif. Daerah C – D adalah daerah yang menunjukkan material pada tahap pembentukan lapisan pasif yang menjadikan kerapatan arus korosi cenderung konstan. Lapisan ini berguna untuk mencegah terjadinya korosi yang berkelanjutan pada material. Titik D merupakan titik yang menunjukkan lapisan pasif dari material telah rusak dan material mulai terkorosi secara bebas. Hal ini dikarenakan energi yang tersedia cukup untuk menerobos lapisan film pasif sehingga mulailah muncul pitting, dan disebut potensial kritis. Daerah D – E adalah daerah yang menunjukkan material telah terkorosi secara bebas dan kerapatan arus mulai naik seiring dengan banyaknya jumlah korosi yang terjadi, maka daerah ini disebut daerah transpasif (Popov, 2015:208) Dari tabel 4.4 dapat dilihat bahwa dengan semakin rendah nilai Icorr maka semakin rendah juga nilai laju korosinya, maka dapat disimpulkan perlakuan proses *shot peening* dapat mengurangi laju korosi pada material dengan memberikan tegangan tekan pada material sehingga dapat memperbaiki struktur butiran pada permukaan material.

#### 4.6 Data Hasil Foto *Scanning Electron Microscope* (SEM)

##### 4.6.1 Hasil Foto *Scanning Electron Microscope* Spesimen Proses *Shot Peening* dengan Variasi Jarak Penembakan

Dari foto *Scanning Electron Microscope* perbesaran 400x dan 1000x pada spesimen hasil proses *shot peening* setelah dilakukan pengujian korosi didapatkan gambar berikut:





Gambar 4.10 Hasil Foto *Scanning Electron Microscope* (SEM) Spesimen dengan Variasi Jarak Penembakan pada Proses *Shot Peening* Setelah Dilakukan Pengujian Korosi

#### 4.6.2 Analisis Hasil Foto *Scanning Electron Microscope* Spesimen Proses *Shot Peening* dengan Variasi Jarak Penembakan

Pada Gambar 4.10 merupakan hasil foto *Scanning Electron Microscope* (SEM) dengan variasi jarak penembakan pada proses *shot peening* setelah dilakukan pengujian korosi. Pada foto SEM ini menggunakan dua kali perbesaran yaitu 400x dan 1000x pada setiap variasi jarak penembakan. Variasi jarak penembakan yang digunakan yaitu 6 cm, 8 cm, 10 cm, 12 cm, dan 14 cm serta *raw* material untuk mewakili data pendukung uji SEM.

Pada gambar diatas terlihat permukaan spesimen mengalami korosi setelah dilakukan pengujian korosi baik dengan perbesaran 400x dan 1000x terlihat pada permukaan spesimennya. Dapat dilihat pada garis panah merah dan lingkaran merah menunjukkan penampakan visual dari fenomena terjadinya korosi pada permukaan spesimen yaitu ada yang berbetuk rongga berlubang dan retakan. Pada foto SEM *raw* material dapat dilihat korosi yang dihasilkan lebih besar daripada foto SEM dengan variasi jarak penembakan pada proses *shot peening*. Dimana hal tersebut dikarenakan adanya tegangan sisa tarik yang dihasilkan karena adanya proses pengelasan yang dimana dapat mempercepat terjadinya laju korosi pada spesimen. Berbeda halnya dengan yang diberi proses *shot peening* dengan variasi jarak penembakan dimana dapat mengurangi laju korosi pada spesimen dikarenakan adanya tegangan sisa tekan yang diberikan pada spesimen. Tegangan sisa tekan yang dihasilkan oleh proses *shot peening* dapat memperbaiki butiran pada permukaan dan menghasilkan lapisan pasif yang efektif untuk mengurangi laju korosi. (Azar et al., 2010) Pada hasil foto SEM diatas dapat dilihat jenis korosi yang terjadi yaitu *pitting corrosion*.

Korosi jenis ini dapat terjadi karena adanya serangan korosi lokal pada permukaan logam sehingga membentuk cekungan atau lubang pada permukaan logam dalam penelitian kali ini yaitu sambungan las. Dapat dilihat pada gambar diatas untuk mengurangi laju korosi paling baik yaitu dengan menggunakan variasi jarak penembakan 6 cm pada proses *shot peening*. Sehingga penampakan visual berupa foto *Scanning Electron Microscope* (SEM) spesimen

dengan variasi jarak penembakan setelah dilakukan uji laju korosi dapat dijadikan sebagai data pendukung uji korosi. (Muthukumar, 2014)



## BAB V PENUTUP

### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan bahwa variasi jarak penembakan pada proses *shot peening* berpengaruh terhadap nilai kekerasan dan laju korosi pada sambungan las pipa ASTM a 106 grade B. Dimana semakin rendah jarak penembakan pada permukaan material, maka nilai kekerasan permukaan akan mengalami peningkatan begitu juga sebaliknya. Karena ketika jarak penembakan lebih rendah maka intensitas penembakan pada permukaan material mengalami peningkatan. Dan juga ketika jarak penembakan lebih rendah juga dapat meningkatkan energi kinetik, dikarenakan ketika pada jarak penembakan yang lebih rendah maka kecepatan tumbukan pada material juga semakin tinggi sehingga dapat meningkatkan kedalaman lapisan pengerasan kerja dan penetrasi dalam spesimen meningkat.

Semakin rendah jarak penembakan pada permukaan material juga dapat mengurangi laju korosi, dimana dikarenakan pada jarak penembakan yang rendah intensitas tembakan meningkat. Ketika intensitas tembakan meningkat maka tegangan sisa tekan yang diberikan tinggi dan dapat mengurangi tegangan sisa tarik akibat adanya proses pengelasan sehingga dapat memperbaiki struktur butiran yang ada di permukaan material yang akan menyebabkan laju korosi pada material menurun.

Jarak penembakan yang optimal proses *shoot peening* pada penelitian ini yaitu pada jarak penembakan 6 cm yang dimana dapat meningkatkan kekerasan dan mengurangi laju korosi yang ada pada sambungan las Pipa ASTM a 106 grade B dengan baik.

### 5.2 Saran

1. Untuk penelitian selanjutnya dapat mengembangkan permodelan instalasi pada sistem proses *shot peening* sehingga mendapatkan hasil yang lebih maksimal.
2. Untuk penelitian selanjutnya masih banyak yang dapat diteliti dari beberapa parameter *shot peening* yang dapat mempengaruhi penembakan pada material agar lebih optimal.
3. Untuk pengujian selanjutnya bisa ditambahkan pengujian kekasaran permukaan untuk mengetahui kekasaran permukaan setelah dilakukan proses *shot peening*.



Halaman ini sengaja dikosongkan

## DAFTAR PUSTAKA

- Anto, R., Deshmukh, S., Sanyal, S., & Bhui, U. K. 2020. Nanoparticles as flow improver of petroleum crudes: Study on temperature-dependent steady-state and dynamic rheological behavior of crude oils.
- Azar, V., Hashemi, B., & Rezaee Yazdi, M. (2010). The effect of shot peening on fatigue and corrosion behavior of 316L stainless steel in Ringer's solution. *Surface and Coatings Technology*, 204(21–22), 3546–3551.
- Bardal, Einar. 2003. *Corrosion and Protection*. London: springer-verlag.
- Callister, William D. 2001. *Fundamental of Materials Science and Engineering*. United State of America: John Wiley & Sons, Inc.
- C-ring, D. M. 2009. *INTISARI Korosi retak tegang (SCC)*. 2(1), 138–146.
- Fontana, Mars. G. 1986. *Corrosion Engineering Third Editon*. Singapore: McGraw-Hill, Inc.
- Groover, Mikell P. 2010. *Fundamental of Modern Manufacturing, Material, Process and System, Fourth Edition*. United State of America: John Wiley & Sons, Inc.
- Gunawan, Y., Endriatno, N., & Anggara, B. H. 2017. Analisa Pengaruh Pengelasan Listrik Terhadap Sifat Mekanik Baja Karbon Rendah Dan Baja Karbon Tinggi. *Enthalpy-Jurnal Ilmiah Mahasiswa Teknik Mesin*, 2(1), 1–12.
- Habibi, N., H-Gangaraj, S. M., Farrahi, G. H., Majzooobi, G. H., Mahmoudi, A. H., Daghigh, M., Yari, A., & Moridi, A. 2012. The effect of shot peening on fatigue life of welded tubular joint in offshore structure. *Materials and Design*, 36, 250–257.
- Husaini, M. Nizar Machmud, Defri Maulana. 2014. Pengaruh Waktu Tahan pada Perlakuan Panas Pasca Pengelasan terhadap Kekerasan dan Kuat Tarik Baja Karbon ASTM A106 Grade B.
- Ibrahim, R. I., Odah, M. K., & Al-Mufti, A. 2019. An Overview on the Recent Techniques for Improving the Flowability of Crude Oil in Pipelines. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 579(1).
- Iswanto, P. T., Mada, U. G., & Akhyar, A. 2018. *Effect of shot peening on microstructure hardness, and corrosion resistance of AISI 316L*. July.
- Kalpakistan, Serope & Schmid, Steven R. 2009. *Manufacturing Engineering and Technology: 6 th Edition*. New York: Prentice Hall.
- Kearns, W. H. 1978. *Welding Handbook Seventh Edition, Welding Process- Arc and Gas Welding and Cutting, Brazing, and Soldering*. Miami, Florida : American Welding Society
- Kondi Maliwemu, E. U., Malau, V., & Iswanto, P. T. 2018. Effect of Shot Peening in Different Shot Distance and Shot Angle on Surface Morphology, Surface Roughness and Surface Hardness of 316L Biomaterial. *IOP Conference Series: Materials*

*Science and Engineering*, 299(1).

Lai, H. H., Cheng, H. C., Lee, C. Y., Lin, C. M., & Wu, W. 2020. Effect of shot peening time on  $\delta/\gamma$  residual stress profiles of AISI 304 weld. In *Journal of Materials Processing Technology* (Vol. 284).

Law, M., Prask, H., Luzin, V., & Gnaeupel-Herold, T. 2006. Residual stress measurements in coil, linepipe and girth welded pipe. *Materials Science and Engineering A*, 437(1), 60–63.

Ling, X., Ni, H., & Gang, M. 2008. Investigation of the influence of shot peening on stress corrosion cracking of stainless steel welded joints. *Materials Science Forum*, 575-578 PART 1, 672–677.

LIU, C., ZHAO, Z., ZHANG, X., & WANG, J. 2020. A progressive approach to predict shot peening process parameters for forming integral panel of Al7050-T7451. *Chinese Journal of Aeronautics*, September.

Mahagaonkar, S. B., Brahmanekar, P. K., & Seemikeri, C. Y. 2008. Effect of shot peening parameters on microhardness of AISI 1045 and 316L material: An analysis using design of experiment. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 38(5–6), 563–574.

Mahmoudi, A. H., Ghasemi, A., Farrahi, G. H., & Sherafatnia, K. 2016. A comprehensive experimental and numerical study on redistribution of residual stresses by shot peening. *Materials and Design*, 90, 478–487.

Martínez-Palou, R., Mosqueira, M. de L., Zapata-Rendón, B., Mar-Juárez, E., Bernal-Huicochea, C., de la Cruz Clavel-López, J., & Aburto, J. 2011. Transportation of heavy and extra-heavy crude oil by pipeline: A review. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 75(3–4), 274–282.

Maulana, N. B. 2018. Pengaruh Variasi Beban Indentor Vickers Hardness Tester Terhadap Hasil Uji Kekerasan Material Aluminium Dan Besi Cor. *Mer-C*, 1(10), 1–5.

Muthukumar, N. 2014. Petroleum Products Transporting Pipeline Corrosion-A Review. In *The Role of Colloidal Systems in Environmental Protection*. Elsevier B.V.

Pedefferri, Pietro. 2018. *Corrosion Science and Engineering*. Milan, Italy: Springer.

Peltz, J. D. S., Beltrami, L. V. R., Kunst, S. R., Brandolt, C., & Malfatti, C. D. F. 2015. Effect of the shot peening process on the corrosion and oxidation resistance of AISI430 stainless steel. *Materials Research*, 18(3), 538–545.

Perez, Nestor. 2004. *Electrochemistry and Corrosion Science*. Boston: Kluwer Academic Publisher

Popov, Branko N. 2015. *Corrosion Engineering Principles and Solved Problems*.

Pramudia, M., Prasetyo, T., Umami, M. K., Alfita, R., Nahari, R. V., Widodo, T. D., & Raharjo, R. 2019. The effect of steel ball diameter variation in dry shot peening process on surface roughness and corrosion rate of AISI 316L implant material. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 494(1).

- Prevéy, P., & Hornbach, D. 2015. Residual Stress in Pipelines. *Oil and Gas Pipelines: Integrity and Safety Handbook*, 73–98.
- Purohit, R., Verma, C. S., Rana, R. S., Dwivedi, R. K., Dwivedi, R., & Banoriya, D. 2017. Optimization of Process Parameters of Shot Peening Using ABQUS. *Materials Today: Proceedings*, 4(2), 2119–2128.
- Ranjarnodeh, E., Serajzadeh, S., Kokabi, A. H., & Fischer, A. 2011. Effect of welding parameters on residual stresses in dissimilar joint of stainless steel to carbon steel. *Journal of Materials Science*, 46(9), 3225–3232.
- Silva, C. C., De Assis, J. T., Philippov, S., & Farias, J. P. 2016. Residual stress, microstructure and hardness of thin-walled low-carbon steel pipes welded manually. *Materials Research*, 19(6), 1215–1225.
- Silva, C. C., de Souza Neto, A. B., da Silva, F. D. A., de Freitas, F. E. S., & Farias, J. P. 2010. Welding of the ASTM a106 Gr. B steel pipes for high-temperature service - part 2 - microstructure and hardness. *Welding International*, 24(3), 231–240.
- Silva, C. C., de Souza Neto, A. B., Silva, F. D. A., De Freitas, F. E. S., & Farias, J. P. 2009. Welding of ASTM A106 Gr. B steel pipes for high-temperature service - Part 1 - Residual stress analysis. *Welding International*, 23(4), 270–281.
- Subiyanto, G., & Ngatin, A. 1970. Carbon Steel Corrosion In The Atmosphere, Cooling Water Systems, And Hot Water. *Fluida*, 11(1), 7–14.
- Tarkono, & Sugiyanto, A. 2010. Studi Kekuatan Sambungan Las Baja AISI 1045 dengan Berbagai Metode Posisi Pengelasan. *Jurnal Mechanical*, 1(1), 43–53.
- Totten, George. E. 2006. *Steel Heat Treatment Metallurgy and Technologies*. United State of America: Taylor & Francis Group, LLC.
- Trung, P. Q., Khun, N. W., & Butler, D. L. 2018. Effect of Shot Peening Process on the Fatigue Life of Shot Peened Low Alloy Steel. *Journal of Engineering Materials and Technology, Transactions of the ASME*, 140(1), 1–8.
- Uhlig, Herbert. H. 2008. *Corrosion and Corrosion Control An Introduction to Corrosion Science and Engineering*. Canada: John Wiley & Sons, Inc.
- Utomo, B. 2012. Jenis Korosi dan Penanggulangannya. *Kapal*, 6(2), 138-141.
- Wirjosumarto, Harsono. 1985. *Teknologi Pengelasan Logam*. Jakarta, Indonesia. P.T Pradnya Paramita.
- Yingsamphancharoen, T., Srisuwan, N., & Rodchanarowan, A. 2016. The electrochemical investigation of the corrosion rates of welded pipe ASTM A106 grade B. *Metals*, 6(9).



Halaman ini sengaja dikosongkan

Lampiran 1 Data Hasil Uji Kekerasan

HASIL UJI KEKERASAN MICROVICKERS  
 FERDIANSYAH PRIA NUGRAHA (NIM 175060201111005)  
 UNIVERSITAS BRAWIJAYA MALANG

No	Kode Spesimen	Titik Uji	Kekerasan (HV)
1	6 cm	1	341.8
2		2	325.2
3		3	308.7
4	8 cm	1	293.0
5		2	285.4
6		3	267.5
7	10 cm	1	261.3
8		2	247.7
9		3	242.8
10	12 cm	1	241.2
11		2	231.4
12		3	225.7
13	14 cm	1	226.8
14		2	224.0
15		3	223.0
16	ROW MATERIAL	1	196.9
17		2	188.6
18		3	186.1
19	ROW MATERIAL I	1	237.4
20		2	238.1
21		3	220.6
22		4	217.9
23		5	211.3
24		6	214.2
25		7	210.8
26		8	208.3
27		9	203.5
28		10	204.7

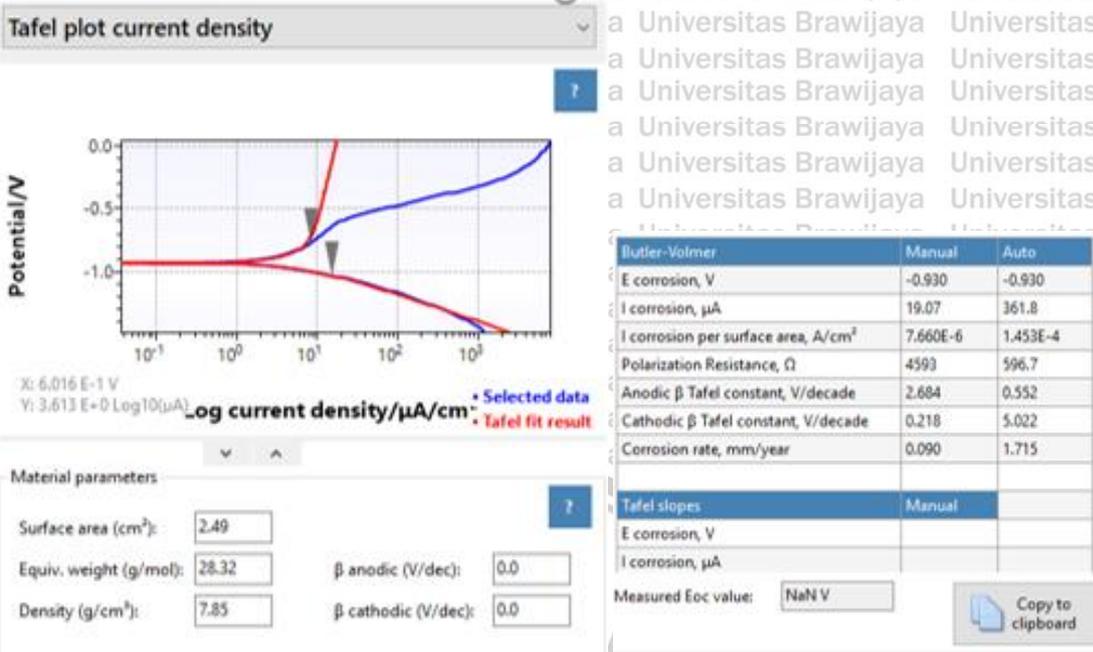
force : 500 gram  
 dwell : 10 detik

Malang, 31 Mei 2021  
 Kepala Lab. Teknik Mesin UM

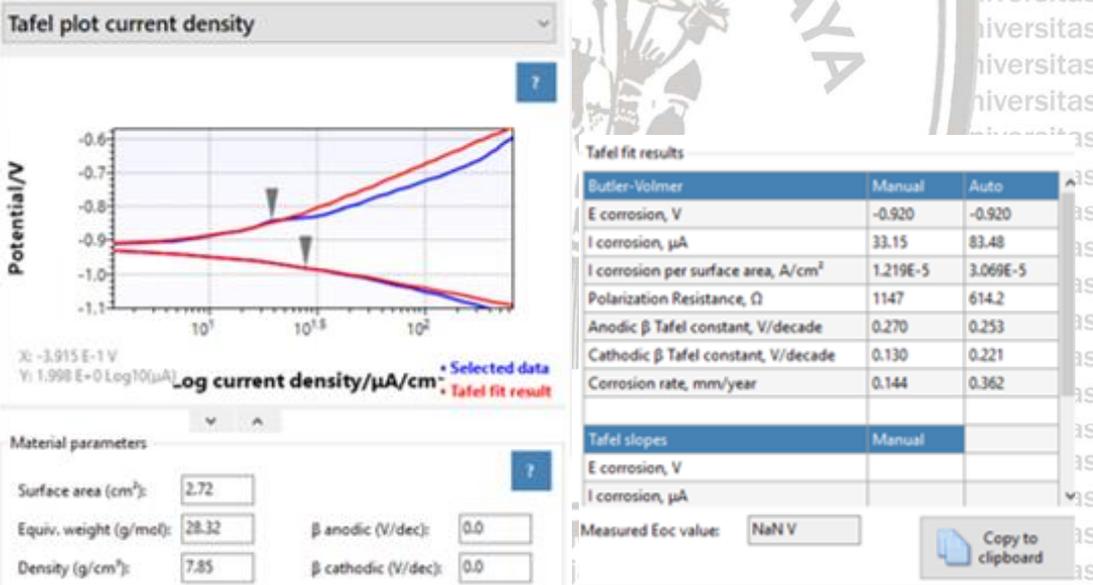


Drs. IMAM SUDJONO, MT  
 NIP. 19600327 198601 1002

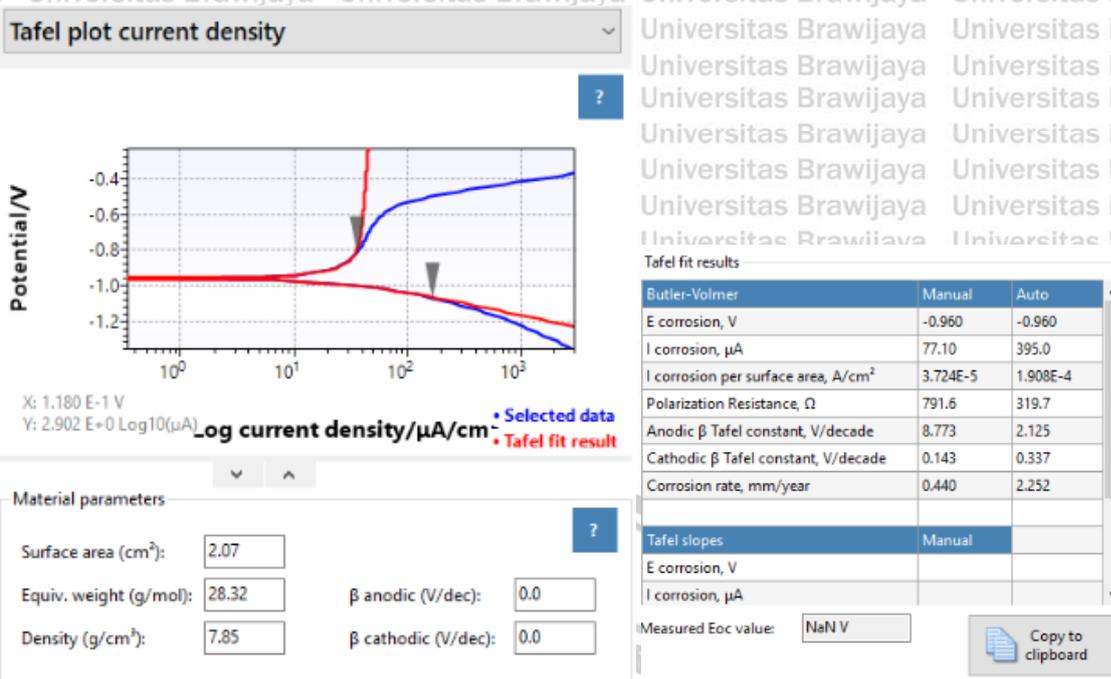
Lampiran 2 Hasil Analisa Plot Tafel dan Nilai Corrosion Rate Jarak Penembakan 6 cm.



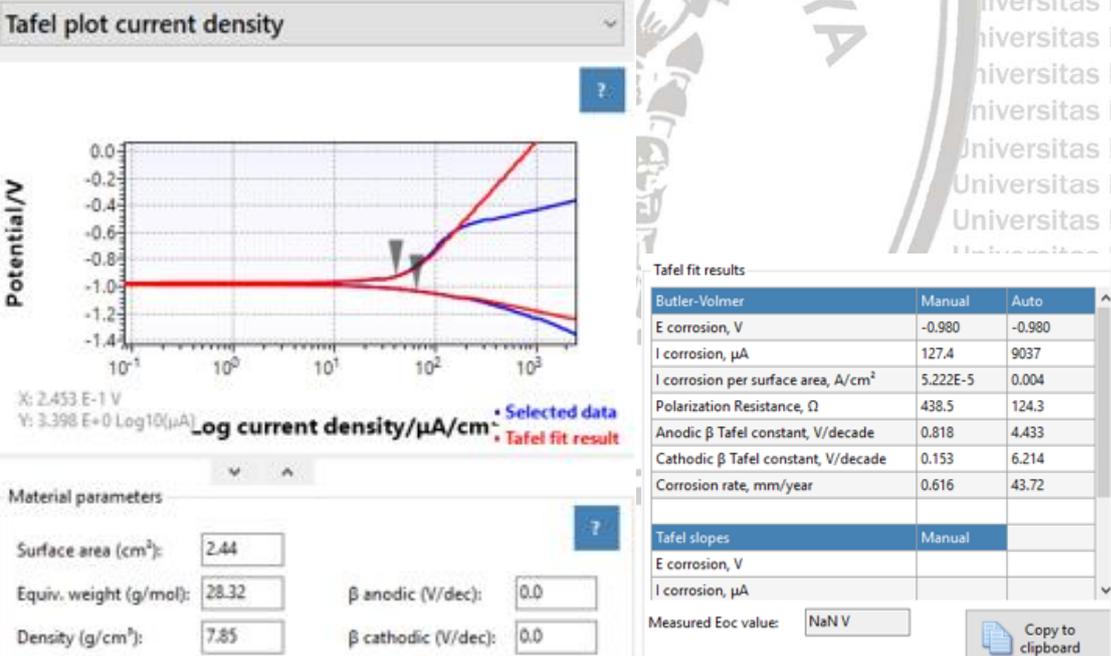
Lampiran 3 Hasil Analisa Plot Tafel dan Nilai Corrosion Rate Jarak Penembakan 8 cm.



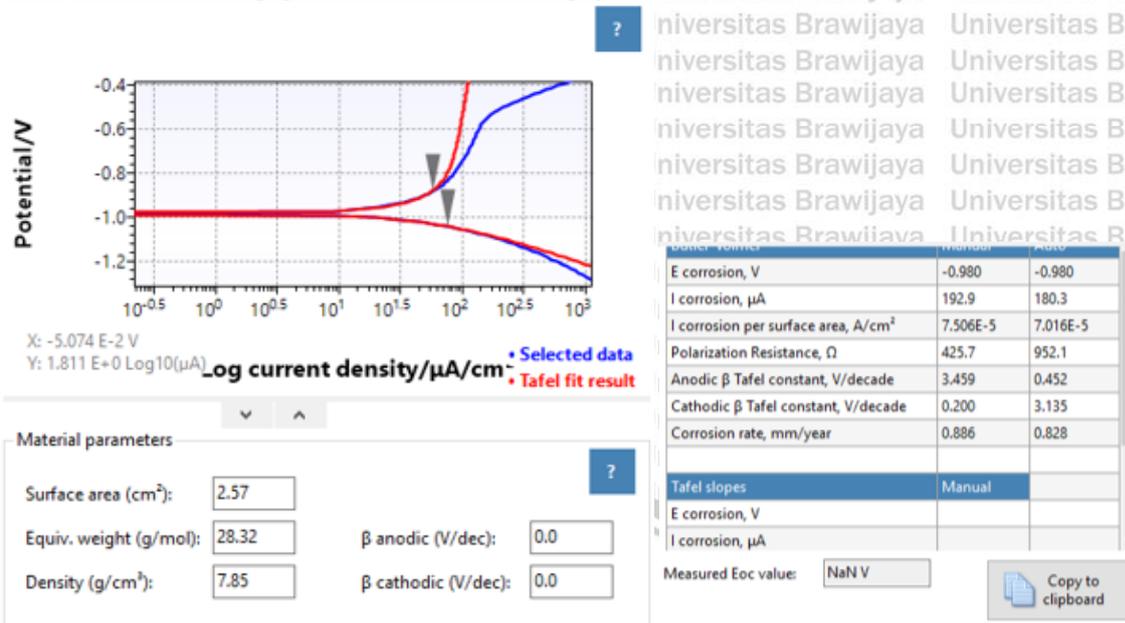
### Lampiran 4 Hasil Analisa Plot Tafel dan Nilai Corrosion Rate Jarak Penembakan 10 cm.



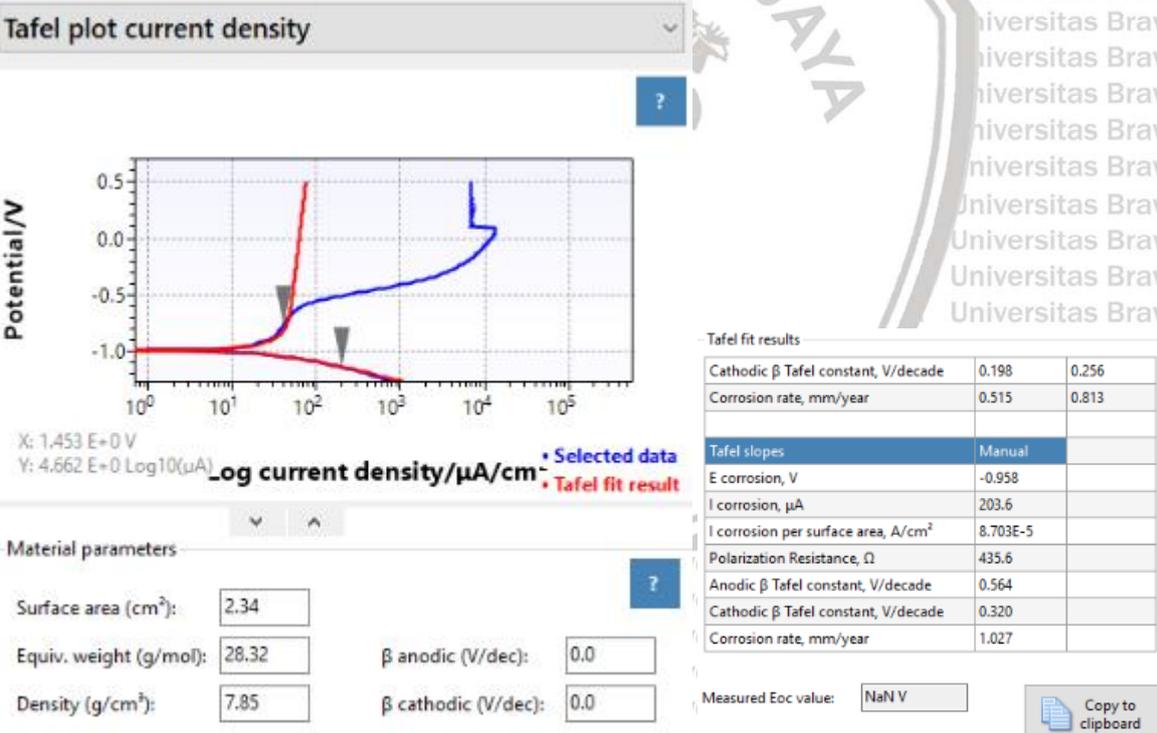
### Lampiran 5 Hasil Analisa Plot Tafel dan Nilai Corrosion Rate Jarak Penembakan 12 cm.



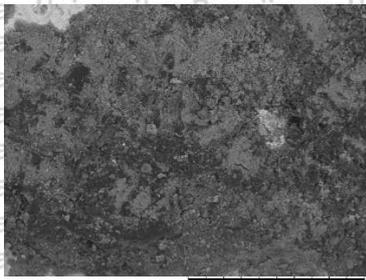
Lampiran 6 Hasil Analisa Plot Tafel dan Nilai Corrosion Rate Jarak Penembakan 14 cm.



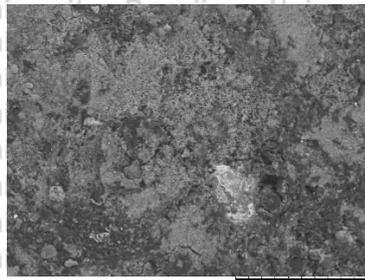
Lampiran 7 Hasil Analisa Plot Tafel dan Nilai Corrosion Rate Raw Material



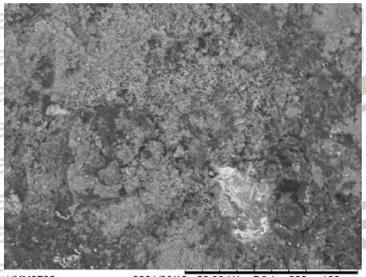
Lampiran 8 Hasil Foto SEM Sesudah Uji Laju Korosi Variasi Jarak Penembakan 6 cm



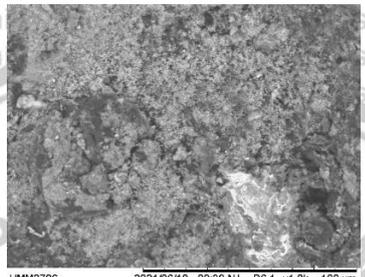
Perbesaran 400x



Perbesaran 600x

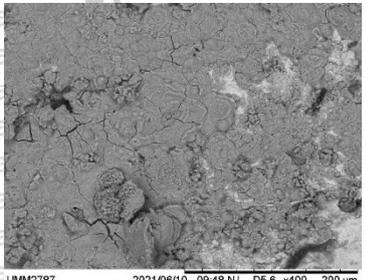


Perbesaran 800x

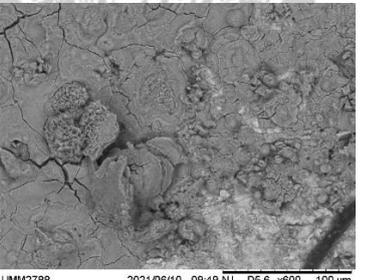


Perbesaran 1000x

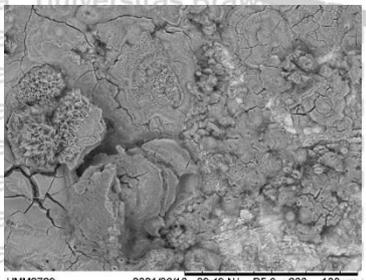
Lampiran 9 Hasil Foto SEM Sesudah Uji Laju Korosi Variasi Jarak Penembakan 8 cm



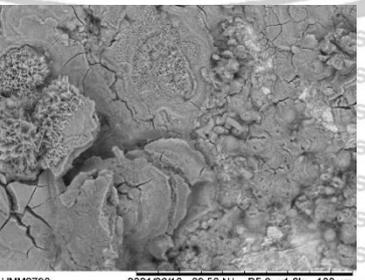
Perbesaran 400x



Perbesaran 600x

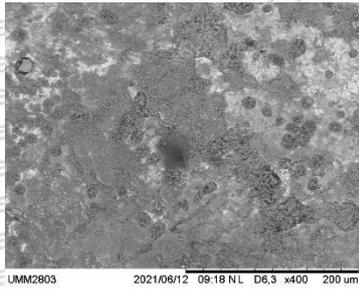


Perbesaran 800x

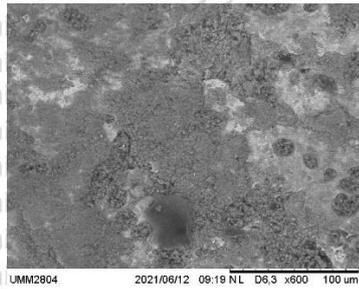


Perbesaran 1000x

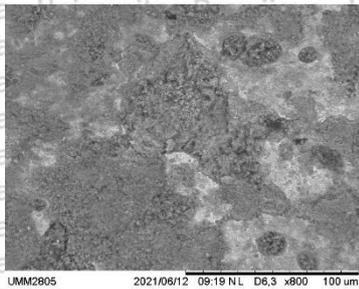
Lampiran 10 Hasil Foto SEM Sesudah Uji Laju Korosi Variasi Jarak Penembakan 10 cm



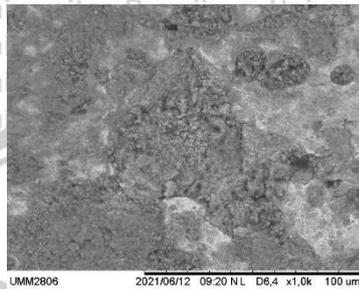
Perbesaran 400x



Perbesaran 600x

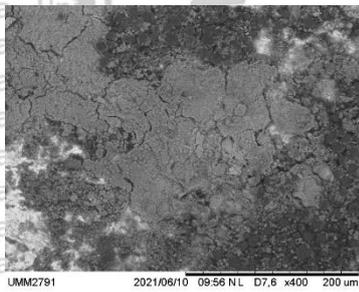


Perbesaran 800x

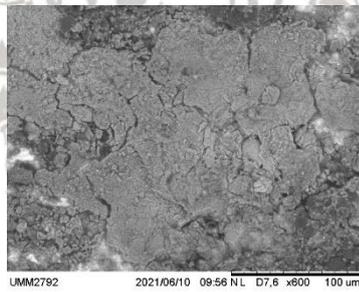


Perbesaran 1000x

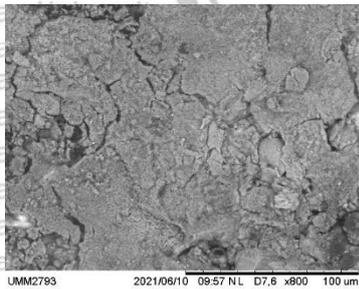
Lampiran 11 Hasil Foto SEM Sesudah Uji Laju Korosi Variasi Jarak Penembakan 12 cm



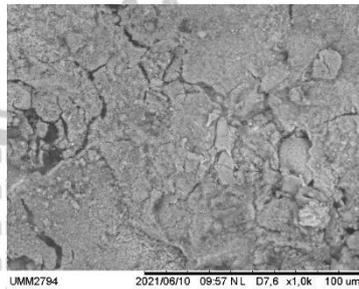
Perbesaran 400x



Perbesaran 600x

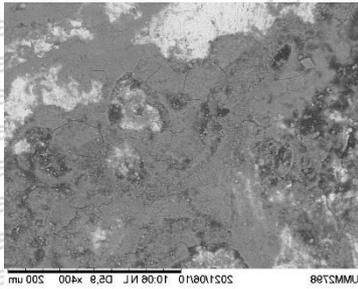


Perbesaran 800x

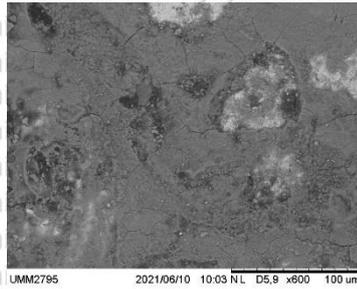


Perbesaran 1000x

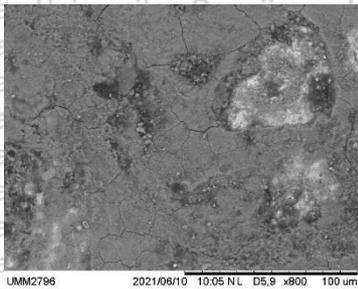
Lampiran 12 Hasil Foto SEM Sesudah Uji Laju Korosi Variasi Jarak Penembakan 14 cm



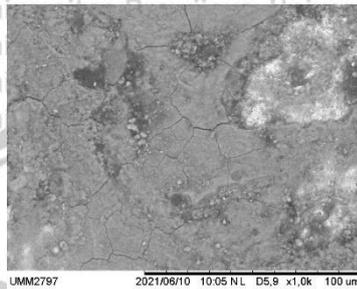
Perbesaran 400x



Perbesaran 600x

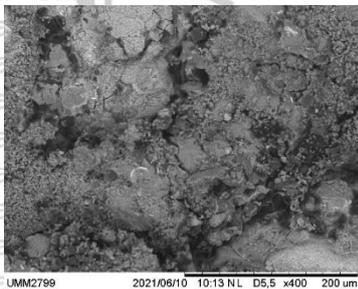


Perbesaran 800x

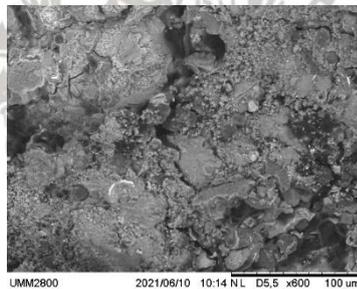


Perbesaran 1000x

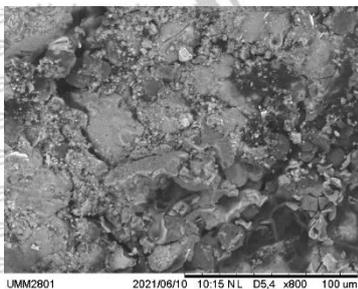
Lampiran 13 Hasil Foto SEM Sesudah Uji Laju Korosi Raw Material



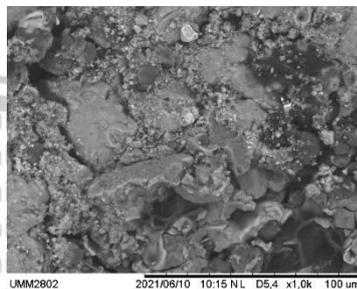
Perbesaran 400x



Perbesaran 600x



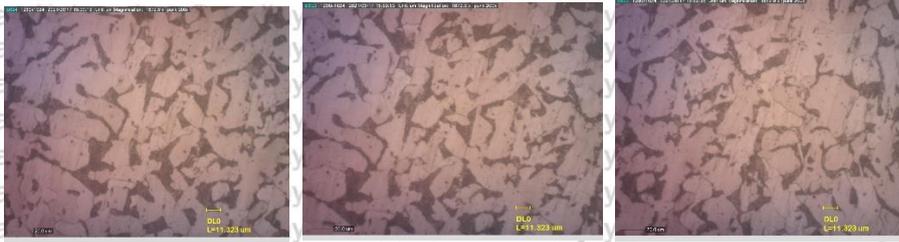
Perbesaran 800x



Perbesaran 1000x

### Lampiran 14 Hasil Foto Uji Mikro

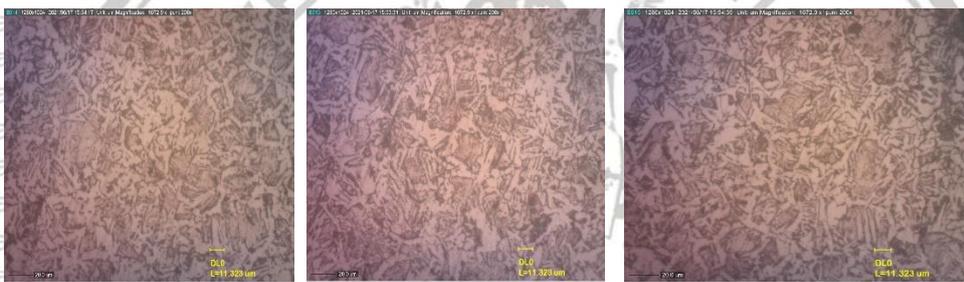
#### Base Metal



#### HAZ



#### Weld Metal



Lampiran 15 Hasil Analisis *Crude Oil*

KEMENTERIAN PENDIDIKAN, KEBUDAYAAN, RISET, DAN TEKNOLOGI  
UNIVERSITAS BRAWIJAYA FAKULTAS MIPA  
JURUSAN KIMIA

Jl. Veteran Malang Jawa Timur 65145  
Telepon: +62-341-575838 Fax: +62-341-554403 Website: <http://kimia.ub.ac.id> Email: kimia\_ub@ub.ac.id

## LAPORAN HASIL ANALISIS

NO : 20210128/R.1/T.1/R.1/TT.150803/2021

1. Data Konsumen
  - Nama : Achirul Jamhar
  - Instansi : Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya
  - Alamat : Jl. MT Haryono Malang
  - Telepon : 085704006106
  - Status : Mahasiswa S-1
  - Keperluan Analisis : Uji Kuantitas
2. Sampling Dilakukan Oleh : Konsumen
3. Identifikasi Sampel
  - Nama Sampel : *Crude Oil*
  - Wujud : Cair
  - Warna : Hitam
  - Bau : Ada Bau
4. Prosedur Analisis : Dilakukan oleh Unit Analisis dan Pengukuran Jurusan Kimia FMIPA Universitas Brawijaya Malang
5. Penyampaian Laporan Hasil Analisis : Diambil Langsung
6. Tanggal Terima Sampel : 06 Mei 2021
7. Data Hasil Analisis :

No	Kode	Parameter	Hasil Analisis		Metode Analisis	
			Kadar	Satuan	Pereaksi	Metode
1.	CO	pH	7,37 ± 0,01	-	-	pHmetri
2.	CO	S	616,08 ± 0,00	mg/kg	Mg(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> dan BaCl <sub>2</sub>	Spektrofotometri

Catatan:

1. Hasil analisis ini adalah nilai rata-rata pengerjaan analisis secara duplo,
2. Hasil analisis ini hanya berlaku untuk sampel yang kami terima dengan kondisi sampel saat itu.



Yuniar Ponco Prananto, S.Si., M.Sc., Ph.D.  
NIP. 198106202005011002

Malang, 15 Juni 2021

Ketua Unit Analisis dan Pengukuran,

Moh. Farid Rahman, S.Si., M.Si.  
NIP. 197007201997021001

## Lampiran 16 Hasil Analisis Air Crude Oil



KEMENTERIAN PENDIDIKAN, KEBUDAYAAN, RISET, DAN TEKNOLOGI  
UNIVERSITAS BRAWIJAYA FAKULTAS MIPA  
JURUSAN KIMIA

Jl. Veteran Malang Jawa Timur 65145  
Telepon: +62-341-575838 Fax: +62-341-554403 Website: <http://kimia.ub.ac.id> Email: kimia\_ub@ub.ac.id

## LAPORAN HASIL ANALISIS

NO : 20210146/R.1/T.1/R.1/TT.150803/2021

1. Data Konsumen
  - Nama : Achirul Jamhar
  - Instansi : Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya
  - Alamat : Jl. MT Haryono Malang
  - Telepon : 085704006106
  - Status : Mahasiswa S-1
  - Keperluan Analisis : Uji Kuantitas
2. Sampling Dilakukan Oleh : Konsumen
3. Identifikasi Sampel
  - Nama Sampel : *Air Laut*
  - Wujud : Cair
  - Warna : Bening
  - Bau : Tidak Ada Bau
4. Prosedur Analisis : Dilakukan oleh Unit Analisis dan Pengukuran Jurusan Kimia FMIPA Universitas Brawijaya Malang
5. Penyampaian Laporan Hasil Analisis : Diambil Langsung
6. Tanggal Terima Sampel : 25 Mei 2021
7. Data Hasil Analisis :

No	Kode	Parameter	Hasil Analisis		Metode Analisis	
			Kadar	Satuan	Pereaksi	Metode
1.	AL	pH	7,81 ± 0,01	-	-	pHmetri
2.	AL	S	424,88 ± 0,06	mg/kg	Mg(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> dan BaCl <sub>2</sub>	Spektrofotometri

Catatan:

1. Hasil analisis ini adalah nilai rata-rata pengerjaan analisis secara duplo,
2. Hasil analisis ini hanya berlaku untuk sampel yang kami terima dengan kondisi sampel saat itu.



Yuniar Ponco Prananto, S.Si., M.Sc., Ph.D.  
NIP. 198106202005011002

Malang, 15 Juni 2021

Ketua Unit Analisis dan Pengukuran,

Moh. Farid Rahman, S.Si., M.Si.  
NIP. 197007201997021001





Lampiran 18 Sertifikat Welder



Lampiran 19 Welding Procedure Specification (WPS)

Office : Jl. Sawo VI No 18 Bringin Sambi, Kota  
Surabaya - 60217  
Telp : 031-7400333, Fax: 031-7341620  
Website : www.kampuh-indonesia.com

### WELDING PROCEDURE SPECIFICATION ( WPS ) QUALIFIED BY TESTING

Company Name : KAMPUH WELDING INDONESIA Revision No. : 0'  
WPS No. : WPS/02/2013 Date : October 23, 2013  
Welding Process(es) : 32-1  
Supporting PQR No.(s) : 003 Type : Manual  Semi-Automatic   
Applicable Code : AWS C-1 / D1.1M : 2013 Machine  Automatic

**JOINT DESIGN USES:**  
Type : BUTT JOINT  
Single  Double Weld   
Becking : Yes  No   
Backing Material : \_\_\_\_\_  
Root Opening : Min. 2 - 3 mm  
Root Face Dimension : Max. 0 - 2 mm  
Groove Angle : 60°  
Radius (J-U) : \_\_\_\_\_  
Back Gouging : Yes  No   
Other : \_\_\_\_\_

**POSITION**  
Position of Groove : PH  
Vertical Progression : Fillet \_\_\_\_\_  
Up  Down

**ELECTRICAL CHARACTERISTICS**  
Transfer Mode (GMAW) : \_\_\_\_\_  
Short-Circuiting  Spray Pulsed   
Globular   
Curent : AC  DCEP  DCEN   
Other : ROOT PASS DCEN  
FILLER - HOT PASS DCEP  
Tungsten Electrode (GTAW) : \_\_\_\_\_  
Size : N/A  
Type : \_\_\_\_\_

**BASE METALS**  
Material Spec. : API 5L ASTM A 109/ A 53  
GRADE B PBL-1  
Thickness : Groove 10.97 (SCH 60 PIPE)  
Fillet \_\_\_\_\_  
Diameter ( Pipe ) : 168,3

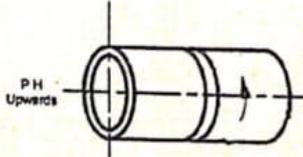
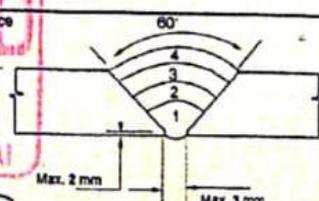
**FILLER METALS**  
AWS Specification : A 51  
AWS Classification : E 7016

**TECHNIQUE**  
Stringer or Weave Bead : BOTH  
Multi-pass or Single Pass (per side) : \_\_\_\_\_  
Number of Electrodes : N/A Multipass \_\_\_\_\_  
Electrode Spacing : \_\_\_\_\_  
Longitudinal : N/A  
Lateral : N/A  
Angle : N/A  
Contact Tube to Work Distance : N/A  
Peening : None  
Interpass Cleaning : Brushing and Grinding.

**SHIELDING**  
Flux : N/A  
Electro-Flux (class) : N/A  
Gas : N/A  
Composition : N/A  
Flow Rate : N/A  
Gas Cup Size : N/A

**POSTWELD HEAT TREATMENT**  
Temp. : None  
Time : \_\_\_\_\_

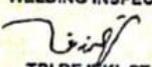
**PREHEAT**  
Preheat Temp., Min. : N/A  
Interpass Temp., Min. : N/A Max. \_\_\_\_\_  
Preheat Method : N/A  
Control Method : \_\_\_\_\_

**Joint Details**  
PH Upwards  Typical welding sequence   
Max. 2 mm Max. 3 mm

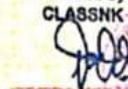
**APPROVED**  
03 DEC 2013  
NIPPON KAIJI KYOKAI

General Manager of SPT 102424011...

Pass or Weld Layer(s)	Process	Filler Metals		Current		Volts (V)	Travel Speed (mm/min)	Heat Input (KJ/cm)	Shielding Gas		Remark
		Class	Dis. (mm)	Type & Polarity	Amps (A)				Type	Flow Rate (LPM)	
1	SMAW	E 7018	2.0	DC-	30 - 80	20 - 20	30 - 70	-	-	-	
2	SMAW	E 7018	2.0	DC+	50 - 80	19 - 25	20 - 50	-	-	-	
3	SMAW	E 7018	2.0	DC+	50 - 80	19 - 25	30 - 80	-	-	-	
4	SMAW	E 7018	3.2	DC+	80 - 110	19 - 25	40 - 70	-	-	-	

Prepared by :  
**WELDING INSPECTOR**  
  
**TRI REJEKI, ST.**

Checked by :  
**WELDING ENGINEER**  
  
**KAMPUH WELDING INDONESIA**  
**Dr. Ir. M. ZAED YULJADI, MSc.**

Witness by :  
**CLASSNK**  
  
**Surveyor**  
Surabaya