



TUGAS AKHIR - MO1326

**ANALISA PENGARUH ROOT GAP PADA PENGELASAN
MATERIAL BAJA AH 36 DENGAN BACKING CERAMIC**

MUHAMAD HARIS FAUZI

NRP. 04311440000064

Dosen Pembimbing

Herman Pratikno, ST., MT., Ph.D.

Dr. Ir. Hasan Ikhwani, M.Sc.

DEPARTEMEN TEKNIK KELAUTAN

**Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2018**



TUGAS AKHIR - MO1326

**ANALISA PENGARUH ROOT GAP PADA PENGELASAN
MATERIAL BAJA AH 36 DENGAN BACKING CERAMIC**

MUHAMAD HARIS FAUZI

NRP. 04311440000064

Dosen Pembimbing

Herman Pratikno, ST., MT., Ph.D.

Dr. Ir. Hasan Ikhwani, M.Sc.

DEPARTEMEN TEKNIK KELAUTAN

**Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2018**



FINAL PROJECT - MO1326

ANALYSIS OF ROOT GAP INFLUENCE ON WELDING MATERIAL STEEL AH 36 WITH BACKING CERAMIC

MUHAMAD HARIS FAUZI

NRP. 04311440000064

Supervisooors

Herman Pratikno, ST., MT., Ph.D.

Dr. Ir. Hasan Ikhwani, M.Sc.

OCEAN ENGINEERING DEPARTMENT

Faculty Of Marine Technology

Sepuluh Nopember Institute Of Technology

Surabaya

2018

**ANALISA PENGARUH ROOT GAP PADA PENGELASAN MATERIAL
BAJA AH 36 DENGAN BACKING CERAMIC**

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada Progran Studi S-1 Departemen Teknik Kelautan Fakultas Teknologi
Kelautan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

Muhamad Haris Fauzi NRP. 0431144000064

Disetujui oleh :

1. Herman Pratikno, S.T., M.T., Ph.D. (Pembimbing 1)

2. Dr. Ir. Hasan Ikhwani, M.Sc. (Pembimbing 2)

3. Ir. Joswan Jusuf Soedjono, M.Sc. (Penguji 1)

4. Wimala Lalitya Dhanistha, S.T., M.T. (Penguji 2)

Surabaya, Juli 2018

**ANALISA PENGARUH *ROOT GAP* PADA PENGELASAN MATERIAL
BAJA AH 36 DENGAN *BACKING CERAMIC***

Nama Mahasiswa : **Muhamad Haris Fauzi**
NRP : **0431144000064**
Departemen : **Teknik Kelautan FTK – ITS**
Dosen Pembimbing : **1. Herman Pratikno, ST., MT., Ph.D.**
2. Dr. Ir. Hasan Ikhwani, M.Sc.

ABSTRAK

Dalam pembangunan kapal terdapat beberapa jenis sambungan dan jenis material dengan tebal material yang berbeda-beda. Pada pengelasan sambungan joint seringkali dilakukan pengelasan dua sisi. Ini menyebabkan tidak efisiennya waktu dan biaya yang cukup banyak. Oleh karena itu digunakan *backing ceramic* agar pengelasan hanya dilakukan pada satu sisi. Karena *backing ceramic* berfungsi sebagai penahan supaya penetrasi pengelasan tersebut menjadi lebih baik dan hasil pengelasan menjadi lebih bagus. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui nilai kekuatan uji *bending* dan kekuatan tarik pada pada plat baja AH 36 dengan proses pengelasan FCAW dengan menggunakan *backing ceramic* dan *tanpa menggunakan backing ceramic*. Spesimen dilakukan pengujian bending berupa *root bend*. Pada pengujian *bending* hasil pengelasan tidak mengalami cacat dan bisa diterima sesuai dengan kriteria yang sudah ditentukan. Pada pengujian kekuatan tarik dengan *gap* 2 mm tanpa *backing ceramic* didapatkan nilai *yield strength* 315 MPa dan *ultimate strength* 473 MPa, pada pengelasan dua sisi dengan *gap* 2 mm tanpa *backing ceramic* didapatkan hasil *yield strength* 314 MPa dan *ultimate strength* 479 MPa, pada pengelasan dengan *gap* 2 mm dengan *backing ceramic* mendapatkan nilai *yield strength* 317 MPa dan *ultimate strength* 482 MPa, pada pengelasan dengan *gap* 4 mm dengan *backing ceramic* mendapatkan nilai *yield strength* 321 MPa dan *ultimate strength* 494 MPa, pada pengelasan dengan *gap* 6 mm dengan *backing ceramic* mendapatkan nilai *yield strength* 322 MPa dan *ultimate strength* 499 MPa.

Kata Kunci: FCAW, *Backing Ceramic*, Uji Bending, Uji Kekuatan Tarik.

**ANALYSIS OF ROOT GAP INFLUENCE ON WELDING MATERIAL
STEEL AH 36 WITH BACKING CERAMIC**

Name : **Muhamad Haris Fauzi**
Registration Number : **04311440000064**
Department : **Teknik Kelautan FTK – ITS**
Supervisors : **1. Herman Pratikno, S.T., M.T., Ph.D.**
2. Dr. Ir. Hasan Ikhwani, M.Sc.

ABSTRACT

In shipbuilding there are several types of connections and types of material with different thickness of material. In joint welding joints are often done two-sided welding. This leads to inefficient time and cost. Therefore, the use of backing ceramic for welding is only done on one side. Because the backing ceramic serves as a holder so that the penetration of the welding becomes better and the welding becomes better. The purpose of this research is to know the value of bending test strength and tensile strength on steel plate AH 36 with FCAW welding process by using backing ceramic and without using backing ceramic. Specimens were tested for bending in the form of root bend. In bending test the welding results do not experience defects and can be accepted in accordance with predetermined criteria. In the test of tensile strength with 2 mm gap without backing ceramic obtained yield strength 315 Mpa and ultimate strength 473 Mpa, on two sided welding with gap 2 mm without backing ceramic yield strength 314 Mpa and ultimate strength 479 Mpa, at welding with gap 2 mm with backing ceramic get yield strength 317 Mpa and ultimate strength 482 Mpa, at welding with gap 4 mm with backing ceramic get yield strength 321 Mpa and ultimate strength 494 MPa, at welding with gap of 6 mm with backing ceramic get yield strength 322 Mpa and ultimate strength 499 Mpa.

Keywords: FCAW, Backing Ceramic, Bending Test, Tensile Strength Test.

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wr. Wb.

Puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT atas segala limpahan rahmat, hidayah dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan baik dan lancar. Tugas Akhir ini berjudul “**ANALISA PENGARUH ROOT GAP PADA PENGELASAN MATERIAL BAJA AH 36 DENGAN BACKING CERAMIC**”.

Tugas Akhir ini disusun untuk memenuhi persyaratan dalam menyelesaikan Studi Kesarjanaan (S-1) di Departemen Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan (FTK), Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya. Tugas Akhir ini menitikberatkan pada perbedaan nilai ketahanan *bending* dan kekuatan tarik pada pengelasan dengan variasi root gap yang berbeda.

Penulis menyadari dalam penulisan laporan ini masih terdapat kekurangan, oleh sebab itu kritik dan saran sangat penulis harapkan sebagai bahan penyempurnaan laporan selanjutnya. Penulis berharap semoga laporan ini dapat bermanfaat bagi perkembangan teknologi di bidang rekayasa kelautan bagi pembaca pada umumnya dan penulis pada khususnya.

Wassalamu'alaikum Wr. Wb.

Surabaya, Juli 2018

Muhamad Haris Fauzi

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih yang sedalam – dalamnya atas bimbingan dan bantuan dalam pengerjaan Tugas Akhir ini, baik secara langsung maupun tidak langsung, kepada:

1. Keluarga atas segala kasih sayang dan dukungannya.
2. Dosen pembimbing pertama, Bapak Herman Pratikno, S.T., MT., Ph.D. yang selalu meluangkan waktunya untuk asistensi.
3. Dosen pembimbing kedua, Bapak Dr. Ir. Hasan Ikhwani, M.Sc. untuk kesediaannya membimbing penulis selama masa perkuliahan di Departemen Teknik Kelautan ITS.
4. Bapak Ir. Joswan Jusuf Soedjono, M.Sc. selaku dosen penguji Tugas Akhir yang telah memberikan evaluasi dan saran kepada penulis guna menyempurnakan Tugas Akhir yang dikerjakan.
5. Ibu Wimala Lalitya Dhanistha, S.T., M.T. selaku dosen penguji Tugas Akhir yang telah memberikan evaluasi dan saran kepada penulis guna menyempurnakan Tugas Akhir yang dikerjakan.
6. Teman – teman Maelstrom L-32 Teknik Kelautan 2014 yang telah bersama – sama berjuang dalam menempuh jenjang pendidikan ini.
7. Seluruh staf pengajar dan karyawan Departemen Teknik Kelautan FTK – ITS.
8. Pihak – pihak lain yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu.

Semoga seluruh bantuan yang telah diberikan kepada penulis mendapat balasan yang baik dari Allah SWT dan menjadi bekal di masa depan bagi penulis.

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
ABSTRAK	iii
ABSTRACT	iv
KATA PENGANTAR	v
UCAPAN TERIMA KASIH.....	vi
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL.....	xiv
DAFTAR GRAFIK.....	xvi
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1.Latar Belakang	1
1.2.Rumusan Masalah	2
1.3.Tujuan	3
1.4.Manfaat	3
1.5.Batasan Masalah.....	3
1.6.Hipotesa Awal.....	4
1.7.Jadwal Kegiatan	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI	5
2.1. Tinjauan Pustaka	5
2.2. Dasar Teori.....	6
2.2.1. Baja	6
2.2.2. Baja AH 36.....	7
2.2.3. Klasifikasi Baja Karbon	8
2.2.4. Struktur Mikro Baja Karbon Rendah, Sedang dan Tinggi.....	9
2.2.5. Pengelasan.....	9
2.2.5.1. Klasifikasi Pengelasan	10
2.2.5.2. Arus Pengelasan	10

2.2.6. Parameter Pengelasan.....	11
2.2.7. Kawat Elektroda.....	12
2.2.8. Pengelasan <i>Flux Core Arc Welding</i> (FCAW).....	13
2.2.9. <i>Backing Ceramic</i>	15
2.2.10. Cacat Pengelasan.....	16
2.2.11. Pegujian Non Destructive Test (NDT).....	19
2.2.11.1. Radiography Testing.....	20
2.2.12. Pengujian Destructive Test (DT).....	21
2.2.12.1. Uji Tarik.....	21
2.2.12.2. Pengujian Bending.....	22
2.2.12.3. Pengujian Metalografi.....	25
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN.....	27
3.1. Diagram Alir (<i>Flow Chart</i>).....	27
3.2. Penjelasan Diagram Alir.....	29
1. Studi Literatur.....	29
2. Pengumpulan Alat dan Bahan.....	29
3. Desain Welding Procedure Spesification (WPS).....	29
4. Pengelasan FCAW Plat Baja AH 36.....	30
5. Pengujian NDT.....	30
6. Pengujian Tarik.....	31
7. Pengujian Bending.....	31
BAB 4 ANALISA DAN PEMBAHASAN.....	33
4.1. <i>Welding Procedure Spesification</i> (WPS).....	33
4.1.1. <i>Welding Procedure Spesification</i> (WPS) <i>Gap</i> 2 mm tanpa <i>Backing Ceramic</i>	34
4.1.2. <i>Welding Procedure Spesification</i> (WPS) <i>Gap</i> 2 mm Pengelasan Dua Sisi tanpa <i>Backing Ceramic</i>	34
4.1.3. <i>Welding Procedure Spesification</i> (WPS) <i>Gap</i> 2 mm dengan <i>Backing Ceramic</i>	35
4.1.4. <i>Welding Procedure Spesification</i> (WPS) <i>Gap</i> 4 mm dengan <i>Backing Ceramic</i>	36

4.1.5. <i>Welding Procedure Specification (WPS) Gap 6 mm dengan Backing Ceramic</i>	36
4.2. Hasil Pengelasan	37
4.3. Uji Radiografi.....	39
4.3.1. Hasil Radiografi Gap 2 mm tanpa Backing Ceramic	39
4.3.2. Hasil Radiografi Gap 2 mm dengan Backing Ceramic	40
4.3.3. Hasil Radiografi Gap 4 mm dengan Backing Ceramic	41
4.3.4. Hasil Radiografi Gap 6 mm dengan Backing Ceramic	41
4.3.5. Hasil Radiografi Dua Sisi Gap 2 mm tanpa Backing Ceramic.....	42
4.4. Pengujian Tarik (<i>Tension Test</i>)	42
4.4.1. Hasil Pengujian Tarik <i>Gap 2 mm tanpa Backing Ceramic</i>	43
4.4.2. Hasil Pengujian Tarik Pengelasan Dua Sisi dengan <i>Gap 2 mm tanpa Backing Ceramic</i>	44
4.4.3. Hasil Pengujian Tarik <i>Gap 2 mm dengan Backing Ceramic</i>	44
4.4.4. Hasil Pengujian Tarik <i>Gap 4 mm dengan Backing Ceramic</i>	45
4.4.5. Hasil Pengujian Tarik <i>Gap 6 mm dengan Backing Ceramic</i>	46
4.4.6. Analisa Hasil Pengujian Kekuatan Tarik.....	46
4.5. Pengujian Bending	49
4.5.1. Hasil Pengujian Bending Gap 2 mm tanpa Backing Ceramic.....	50
4.5.2. Hasil Pengujian Bending Gap 2 mm dengan Backing Ceramic ...	50
4.5.3. Hasil Pengujian Bending Gap 4 mm dengan Backing Ceramic ...	51
4.5.4. Hasil Pengujian <i>Bending</i> Gap 6 mm dengan <i>Backing Ceramic</i> ...	52
4.5.5. Hasil Pengujian <i>Bending</i> Gap 2 mm Pengelasan Dua Sisi tanpa <i>Backing Ceramic</i>	53
4.6. Analisa Hasil Uji Bending	54
4.7. Hasil Pengujian Metalografi	55
4.7.1. Hasil dan Analisa Struktur Makro pada Spesimen Uji	55
4.7.2. Hasil dan Analisa Struktur Mikro pada Spesimen Uji.....	58
4.7.2.1. Struktur Mikro Pengelasan Gap 2 mm tanpa Backing Ceramic	58
4.7.2.2. Struktur Mikro pengelasan gap 2 mm dengan backing ceramic	60

4.7.2.3.Struktur mikro pengelasan gap 4 mm dengan backing ceramic	62
4.7.2.4.Struktur mikro pengelasan gap 6 mm dengan backing ceramic	64
4.7.2.5.Struktur mikro pengelasan dua sisi tanpa backing ceramic ..	66
4.7.3. Analisa hasil pengujian metalografi.....	68
BAB 5 PENUTUP	71
5.1. Kesimpulan	71
5.2. Saran	72
DAFTAR PUSTAKA	73
LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1.	struktur mikro baja karbon rendah, sedang, tinggi	8
Gambar 2.2.	pengaruh arus listrik dan kecepatan pengelasan	9
Gambar 2.3.	mesin las FCAW	12
Gambar 2.4.	kawat las FCAW	13
Gambar 2.5.	jenis dan tipe backing ceramic	15
Gambar 2.6.	bentuk-bentuk crack	16
Gambar 2.7.	incomplete fusion	16
Gambar 2.8.	incomplete penetration	17
Gambar 2.9.	slag inclusion	17
Gambar 2.10.	porosity	18
Gambar 2.11.	sagging	18
Gambar 2.12.	dasar uji radiografi	19
Gambar 2.13.	konstruksi tabung x – ray	19
Gambar 2.14.	diagram rambatan puls	20
Gambar 2.15.	spesimen uji tarik	21
Gambar 2.16.	<i>Face Bend</i> pada <i>Transversal Bending</i>	22
Gambar 2.17.	<i>Root Bend</i> pada <i>Transversal Bending</i>	22
Gambar 2.18.	<i>Side Bend</i> pada <i>Transversal Bending</i>	23
Gambar 2.19.	<i>Face Bend</i> pada <i>Longitudinal Bending</i>	24
Gambar 2.20.	<i>Root Bend</i> pada <i>Longitudinal Bending</i>	24
Gambar 3.1.	diagram alir penelitian	26
Gambar 3.2.	proses pengujian radiografi	29
Gambar 4.1.	Persiapan Material Pelat Baja AH 36 Dengan Backing Ceramic	35
Gambar 4.2.	Plat Material Baja AH 36 Dengan Gap 2 mm Setelah Pengelasan Tanpa Backing Keramik	35
Gambar 4.3.	Plat Material Baja AH 36 Dengan Gap 2 Mm Setelah Pengelasan Dengan Backing Keramik	36

Gambar 4.4. Plat Material Baja AH 36 Dengan Gap 4 Mm Setelah Pengelasan Dengan Backing Keramik	36
Gambar 4.5. Plat Material Baja AH 36 Dengan Gap 6 Mm Setelah Pengelasan Dengan Backing Keramik	36
Gambar 4.6. Plat Material Baja AH 36 Setelah Pengelasan Dua sisi tanpa Backing Keramik	37
Gambar 4.7. Film Hasil Radiografi Pengelasan FCAW Dengan Gap 2 mm tanpa backing ceramic.....	38
Gambar 4.8. Film Hasil Radiografi Pengelasan FCAW Dengan Gap 2 mm Dengan Backing Ceramic.	38
Gambar 4.9. Film Hasil Radiografi Pengelasan FCAW Dengan Gap 4 mm Dengan Backing Ceramic.	39
Gambar 4.10. Film Hasil Radiografi Pengelasan FCAW Gap 6 mm dengan Backing Ceramic.....	39
Gambar 4.11. Film Hasil Radiografi Pengelasan FCAW Dua Sisi tanpa Backing Ceramic	40
Gambar 4.12. Gambar 2D Pengujian Tarik.....	41
Gambar 4.13. Hasil Uji <i>Root Bend</i> Pengelasan Gap 2 mm tanpa <i>Backing Ceramic</i>	48
Gambar 4.14. Hasil Uji <i>Root Bend</i> Pengelasan Gap 2 mm dengan <i>Backing Ceramic</i>	49
Gambar 4.15. Hasil Uji <i>Root Bend</i> Pengelasan Gap 4 mm dengan <i>Backing Ceramic</i>	50
Gambar 4.16. Hasil Uji <i>Root Bend</i> Pengelasan Gap 6 mm dengan <i>Backing Ceramic</i>	51
Gambar 4.17. Hasil Uji <i>Root Bend</i> Pengelasan Gap 2 mm Pengelasan Dua Sisi tanpa <i>Backing Ceramic</i> 3.	52
Gambar 4.18. Struktur Makro Pengelasan 2 mm tanpa Backing Ceramic.....	56
Gambar 4.19. Struktur Makro Pnegelasan 2 mm dengan Backing Ceramic	56
Gambar 4.20. Struktur Makro Pengelasan 4 mm dengan Backing Ceramic	57
Gambar 4.21. Struktur Makro Pengelasan 6 mm dengan Backing Ceramic	57
Gambar 4.22. Struktur Makro Pengelasan Dua Sisi tanpa Backing Ceramic	58

Gambar 4.23. Struktur Mikro Pengelasan 2 mm tanpa Backing Ceramic.	59
Gambar 4.24. Struktur Mikro Pnegelasan 2 mm dengan Backing Ceramic.....	61
Gambar 4.25. Struktur Mikro Pengelasan 4 mm dengan Backing Ceramic.....	63
Gambar 4.26. Struktur Mikro Pengelasan 6 mm dengan Backing Ceramic.....	65
Gambar 4.27. Struktur Mikro Pengelasan Dua Sisi tanpa Backing Ceramic	67
Gambar 4.28. Diagram CCT.....	69

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Tabel Kandungan Kimia AH 36.....	6
Tabel 2.2. Sifat Mekanik Baja AH 36	6
Tabel 2.3. Hubungan Diameter Elektroda dengan Arus Pengelasan.....	9
Tabel 4.1. <i>Welding Procedure Spesification (WPS)</i>	31
Tabel 4.2. <i>Welding Procedure Spesification (WPS)</i> Pada Material Gap 2 mm Tanpa <i>Backing Ceramic</i>	32
Tabel 4.3. <i>Welding Procedure Spesification (WPS)</i> Pada Material Gap 2 mm Pengelasan Dua Sisi tanpa <i>Backing Ceramic</i>	33
Tabel 4.4. <i>Welding Procedure Spesification (WPS)</i> Pada Material Gap 2 mm dengan <i>Backing Ceramic</i>	33
Tabel 4.5. <i>Welding Procedure Spesification (WPS)</i> Pada Material Gap 4 mm dengan <i>Backing Ceramic</i>	34
Tabel 4.6. <i>Welding Procedure Spesification (WPS)</i> Pada Material Gap 6 mm dengan <i>Backing Ceramic</i>	35
Tabel 4.7. Hasil Kekuatan Tarik Pengelasan <i>Gap</i> 2 mm tanpa <i>Backing Ceramic</i>	42
Tabel 4.8. Hasil Kekuatan Tarik Pengelasan Dua Sisi <i>Gap</i> 2 mm tanpa <i>Backing Ceramic</i>	42
Tabel 4.9. Hasil Kekuatan Tarik <i>Gap</i> 2 mm dengan <i>Backing Ceramic</i>	43
Tabel 4.10. Hasil Kekuatan Tarik Pengelasan <i>Gap</i> 4 mm dengan <i>Backing Ceramic</i>	43
Tabel 4.11. Hasil Kekuatan Tarik Pengelasan <i>Gap</i> 6 mm dengan <i>Backing Ceramic</i>	44
Tabel 4.12. Hasil Kekuatan Tekuk (<i>Root Bend Test</i>) <i>Gap</i> 2 mm tanpa <i>Backing Ceramic</i>	48
Tabel 4.13. Hasil Kekuatan Tekuk (<i>Root Bend Test</i>) <i>Gap</i> 2 mm dengan <i>Backing Ceramic</i>	49
Tabel 4.14. Hasil Kekuatan Tekuk (<i>Root Bend Test</i>) <i>Gap</i> 4 mm dengan <i>Backing Ceramic</i>	50

Tabel 4.15. Hasil Kekuatan Tekuk (<i>Root Bend Test</i>) Gap 6 mm dengan <i>Backing Ceramic</i>	51
Tabel 4.16. Hasil Kekuatan Tekuk (<i>Root Bend Test</i>) Gap 2 mm Pengelasan Dua Sisi tanpa <i>Backing Ceramic</i>	52

DAFTAR GRAFIK

Grafik 4.1. Hasil Kekuatan Tarik Variasi Root Gap dan Backing Ceramic	46
Grafik 4.2. Prosentase <i>Ferrite</i> dan <i>Pearlite</i> Pengelasan <i>Gap</i> 2 mm tanpa <i>Backing Ceramic</i>	60
Grafik 4.3. Prosentase <i>Ferrite</i> dan <i>Pearlite</i> Pengelasan <i>Gap</i> 2 mm dengan <i>Backing Ceramic</i>	62
Grafik 4.4. Prosentase <i>Ferrite</i> dan <i>Pearlite</i> Pengelasan <i>Gap</i> 4 mm dengan <i>Backing Ceramic</i>	64
Grafik 4.5. Prosentase <i>Ferrite</i> dan <i>Pearlite</i> Pengelasan <i>Gap</i> 6 mm dengan <i>Backing Ceramic</i>	66
Grafik 4.6. Prosentase <i>Ferrite</i> dan <i>Pearlite</i> Pengelasan Dua Sisi tanpa <i>Backing Ceramic</i>	68

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1.Latar Belakang

Proses pengelasan merupakan salah satu cara penyambungan antara dua logam dan paduan logam dengan menggunakan energi panas. Proses pengelasan biasanya digunakan untuk fabrikasi dalam bidang *engineering*, misalnya untuk pesawat terbang, dan industri perkapalan (Gery, dkk, 2005). Dengan proses pengelasan suatu konstruksi logam menjadi lebih ringan dan proses pembuatannya juga lebih sederhana, sehingga biaya keseluruhan juga lebih ekonomis (Muvidah, 2008). Penggunaan bermacam-macam kelas baja A, AH, EH dan DH dalam pembuatan kapal didasarkan atas pentingnya bagian konstruksi yang dibuat dan tebalnya pelat untuk bagian konstruksi tersebut, sehingga dalam pembangunan kapal baja tersebut akan dijumpai suatu proses pengelasan antara dua material yang berbeda (Harsono, dkk. 2000). Plat yang digunakan adalah jenis baja AH 36 karena memiliki kekuatan dan kandungan karbon yang sesuai dengan konstruksi kapal yang akan dibangun. Disamping penggunaan baja AH 36, penggunaan variasi root gap juga penting dalam menentukan kekuatan dari hasil pengelasan tersebut.

Proses pengelasan SMAW merupakan proses manual dengan menggunakan proses panas yang dihasilkan oleh panas busur yang terjadi diantara ujung elektroda dan logam induk (Oto, 2014). Proses FCAW merupakan proses pengelasan busur antara electrode filler metal yang diumpankan secara terus menerus dengan bidang material logam induk (Hastuti, 2010). Proses GMAW merupakan proses pengelasan yang menggunakan gas inert dimana elektroda yang digunakan tidak di coating dan dapat menyuplai terus karena bersifat gulungan (Sukmana, 2011).

Pengelasan pada material dengan tebal tertentu digunakan *backing ceramic* agar hasil lasan bisa tembus dari sisi satu ke sisi lainnya. Fungsi dari *backing ceramic* adalah sebagai penahan hasil lasan agar tidak meluber dan hasil lasan menjadi bagus. Penurunan kualitas dapat terjadi sebelum umur operasi selesai. Penurunan ini disebabkan oleh faktor lingkungan meliputi angin, beban

diatasnya, dan korosi (Nizar, 2014). Diperlukan persyaratan yang tinggi untuk memenuhi tuntutan proses las yang sesuai dengan *standard specification*, baik untuk keperluan konstruksi maupun reparasi (Musaikan, 2002).

Daerah lasan terdiri dari 3 (tiga) bagian yaitu logam lasan, daerah pengaruh panas atau biasa disebut HAZ (*Heat Affected Zone*), dan logam induk yang tidak terpengaruh oleh proses pengelasan. Logam las adalah bagian dari logam yang pada waktu pengelasan mencair dan kemudian membeku (Indiarsa, 2017). Proses pengelasan pada dasarnya memiliki tujuh macam sambungan, yaitu: *butt joint*, *backing joint*, *T joint*, *Cross joint*, *overlap joint*, *corner joint*, dan *edge joint*. Sambungan tersebut memiliki karakteristik sendiri-sendiri, termasuk dari komposisi komponen gas pelindung mempengaruhi dari kekuatan sambungan pengelasan. Untuk posisi pengelasan ada beberapa jenis, yaitu: *flat*, *horizontal*, *vertical* dan *overhead* (ASTM volume 03.01, 2003). Pada penelitian sebelumnya telah dilakukan eksperimen terhadap pengaruh *backing ceramic* terhadap kekuatan hasil uji *bending* pada baja St 41 (Yuda, 2014). Pada penelitian ini digunakan variasi *root gap* 2 mm, 4 mm, dan 6 mm karena untuk memudahkan peneliti dalam membuat spesimen dan juga agar hasil penetrasi pengelasan lebih jelas dengan menggunakan *backing ceramic* sesuai dengan aturan yang sudah ditetapkan.

Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk membahas bagaimana kekuatan tarik, kekuatan *bending*, serta membandingkan sambungan las FCAW dengan proses yang berbeda. Dalam penelitian ini akan dilakukan analisa pengaruh *backing ceramic* juga variasi *root gap* pada pengelasan material baja AH 36. Harapan dari penelitian ini adalah diperoleh hasil yang memuaskan dan sesuai dengan yang diharapkan.

1.2.Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana nilai kekuatan tarik sambungan pengelasan akibat pengaruh *root gap* pada pengelasan *V – butt joint* dengan *backing ceramic* ?
2. Bagaimana nilai kekuatan bending sambungan pengelasan akibat pengaruh *root gap* pada pengelasan *V – butt joint* dengan *backing ceramic* ?

3. Bagaimana hasil perbandingan antara pengelasan satu sisi tanpa *backing ceramic*, pengelasan dua sisi tanpa *backing ceramic*, dan pengelasan dengan *backing ceramic* akibat pengaruh *root gap* pada pengelasan *V – butt joint* ?

1.3.Tujuan

Adapun tujuan dari penulisan tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Mendapatkan nilai kekuatan tarik sambungan pengelasan akibat pengaruh *root gap* pada pengelasan *V – butt joint* dengan *backing ceramic*,
2. Mendapatkan nilai kekuatan bending sambungan pengelasan akibat pengaruh *root gap* pada pengelasan *V – butt joint* dengan *backing ceramic*,
3. Mendapatkan hasil perbandingan antara pengelasan satu sisi tanpa *backing ceramic*, pengelasan dua sisi tanpa *backing ceramic*, dan pengelasan dengan *backing ceramic* pada pengelasan akibat pengaruh *root gap* pada pengelasan *V – butt joint*.

1.4.Manfaat

Setelah mengerjakan tugas akhir ini kita akan dapat mengetahui hasil dari pengelasan akibat pengaruh *root gap* pada pengelasan *V – butt* dengan *backing ceramic* berdasarkan sifat mekaniknya. Selain itu bagi mahasiswa yang atau peneliti lain agar dapat mengembangkan penelitian yang lebih lanjut terhadap hasil eksperimen yang dilakukan pada tugas akhir ini.

1.5.Batasan Masalah

Untuk memfokuskan penelitian, batasan masalah pada tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Jenis material yang digunakan adalah baja AH 36,
2. Proses pengelasan yang digunakan *Flux Core Arc Welding* (FCAW),
3. Jenis sambungan las menggunakan *single V*
4. Posisi pengelasan yang dilakukan adalah 1G
5. Variasi *root gap* 2 mm, 4 mm, 6 mm,

6. Pengelasan dilakukan sesuai dengan WPS (*Welding Procedure Spesification*),
7. Parameter pengujian adalah *Radiography Testing* (NDT), *Tensile Test* (Uji Tarik), Uji *Bending*.

1.6.Hipotesa Awal

Adapun hipotesa awal yang diberikan pada permasalahan tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Semakin besar *gap* maka kekuatan tarik *yield* dan *ultimate* maka juga akan semakin besar.
2. Pada uji *bending*, spesimen dengan menggunakan *backing ceramic* memiliki hasil kekuatan yang baik dibanding yang tanpa menggunakan *backing ceramic*.
3. Nilai kekuatan tarik *yield* dan *ultimate* dari pengelasan dengan *backing ceramic* memiliki nilai yang lebih besar dibanding pengelasan tanpa *backing ceramic*.

1.7.Jadwal Kegiatan

No	Kegiatan	Februari				Maret				April				Mei				Juni				Juli			
		I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV
1	Studi Literatur	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■												
2	Perijinan Laboratorium					■	■																		
3	Persiapan Alat dan Bahan					■	■																		
4	Pengelasan dan NDT									■	■	■													
5	Uji Tarik											■	■												
6	Uji Kekerasan											■	■												
7	Uji Metalografi																					■	■		
8	Analisa Data													■	■	■	■	■	■	■	■				
9	Penulisan Laporan Akhir																	■	■	■	■	■	■	■	■

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA dan DASAR TEORI

2.1. Tinjauan Pustaka

Yuda (2014) dalam penelitiannya melakukan eksperimen terhadap pengaruh *backing ceramic* terhadap kekuatan hasil uji bending pada baja St 41. Hasil pengujian bending pada baja St 41 dilihat dari rata-rata dari semua perlakuan untuk *backing ceramic* sebesar 85.366 Gpa dan untuk *non backing ceramic* sebesar 85.600 GPa. Keduanya terdapat perbedaan sebesar 0.234 GPa. Namun hasil ini tidak signifikan dan pada saat dilakukan uji independen sample t test $T_{hitung} < T_{tabel}$. Dapat disimpulkan bahwa tidak ada perbedaan keuletan hasil pengelasan antara menggunakan *backing ceramic* dan yang tidak menggunakan *backing ceramic* pada baja St 41.

Indiarsa (2017) dalam penelitiannya melakukan eksperimen terhadap pengaruh heat input dan variasi elektrode terhadap kekuatan hasil uji tarik, kekerasan dan struktur makro dan mikro pada material baja AH 36 dan ASTM A53 dengan proses pengelasan *flux core arc welding*. Dari Penelitian ini didapatkan kekuatan tarik *ultimate* dan *yield* terbesar adalah spesimen A2 dengan elektrode FCW-71-T, dan *heat input* 0,7 KJ/mm sedangkan untuk kekuatan tarik *ultimate* dan *yield* terkecil adalah spesimen A3 dengan elektrode FCW-71 T dan *heat input* 0,87 kJ/mm. Nilai kekerasan terbesar pada bagian HAZ (*Heat Affected Zone*) baja ASTM A53 adalah spesimen A3 sebesar 174.2 HVN, pada bagian HAZ (*Heat Affected Zone*) baja AH36 adalah spesimen B3 sebesar 169 HVN sedangkan pada bagian weld metal adalah spesimen spesimen B3 sebesar 284.8 HVN. Spesimen yang memiliki fase ferrite terbesar pada bagian HAZ Baja AH36 spesimen A1 sebesar 63,4%, pada bagian *weld metal* spesimen yang terbesar adalah spesimen A1 sebesar 61,4% selanjutnya untuk fase perlite terbesar pada bagian HAZ Baja AH36 spesimen B3 sebesar 60,4%, pada bagian *weld metal* spesimen yang terbesar adalah spesimen B3 sebesar 86,5%.

Anggraeni (2016) dalam penelitiannya untuk mengetahui perbandingan nilai dari kekuatan uji *bending*, dan nilai kekuatan kekerasan pada sambungan *weld joint* pada plat baja A36 pada proses pengelasan SMAW di lingkungan darat dan bawah air. Spesimen dilakukan uji *bending* berupa *face bend* dan *root bend*. Pada pengujian *bending* pengelasan di darat tidak menghasilkan cacat yang berarti, sedangkan untuk hasil pengujian *bending face* dan *root* pada pengelasan bawah air terdapat cacat sepanjang daerah pengelasan sebesar 38 mm.

Jaya (2017) dalam penelitiannya untuk mengetahui perbandingan sudut *groove* pengelasan pada material baja ASTM A131 dan AH 36 dengan menggunakan elektroda AWS E6013 diameter 3.2 mm. Pada pengujian tarik pada *groove* 80° didapatkan hasil rata-rata dengan nilai *yield strength* sebesar 430.441 Mpa dan *ultimate strength* sebesar 441.87 Mpa.

Penelitian – penelitian diatas akan menjadi acuan penulis pada pengerjaan tugas akhir ini, dimana permasalahan yang diambil dengan memvariasikan dua variasi yakni variasi root gap dan penggunaan backing ceramic yang nantinya akan dilakukan pengujian sifat mekanis berupa kekuatan tarik, dan kekerasan serta ditinjau dari faktor ekonomi.

2.2.Dasar Teori

2.2.1. Baja

Baja adalah salah satu jenis logam yang paling banyak digunakan dalam bidang teknik. Baja mengandung beberapa unsur paduan. Unsur yang paling dominan pengaruhnya terhadap sifat – sifat baja adalah unsur karbon. Meski unsur lainnya tidak bisa diabaikan begitu saja. Besar kecilnya prosentase unsur karbon akan berdampak pada sifat mekanik dari baja tersebut, misalnya dalam hal kekerasan, kerapuhan, keuletan, kemampuan bentuk dan sifat – sifat mekanik lainnya (Indiarsa, 2017).

Baja karbon kelompok ini dikenal dengan istilah baja lunak atau baja karbon rendah (*mild steel*). Baja karbon rendah bersifat mudah dibentuk.

Baja karbon AH 36 sering digunakan sebagai material konstruksi anjungan lepas pantai seperti struktur deck atau modul *topside*.

2.2.2. Baja AH 36

Material AH 36 adalah material standard dalam *ship construction* yang di buat oleh ABS berdasarkan *requirement* dan kebutuhan *consumption* orang *shipyard* atau sejenisnya. AH36 adalah material *Higher strength hull structural steel*. Material ini digunakan untuk bagian tertentu pada kapal. seperti contohnya pada bagian *tank deck* kapal dan *Heli Deck*.

Tabel 2.1. Tabel Kandungan Kimia AH 36 (ASTM Standard, 1993)

Chemical Composition	percent %
Carbon	0.18%
Manganese	0.19% - 1.6%
Phosphorus	0.035%
Silica	0.1% - 0.5%
Sulfur	0.035%
Copper	0.35%
Nickel	0.40%
Chromium	0.20%
Molybdenum	0.08%
Vanadium	0.05% - 0.1%
Alumunium	0.015%
Titanium	0.02%

Tabel 2.2. Sifat Mekanik Baja AH 36 (ASTM Standard, 1993)

Mechanical Properties	Metric	Imperial
Tensile Strength, Ultimate	400 - 550 MPa	58000 - 79800 psi
Tensile Strength, Yield	250 MPa	36300 psi
Elongation at Break (in 200 mm)	20.0 %	20.0 %
Elongation at Break (in 50 mm)	23.0 %	23.0 %
Modulus of Elasticity	200 GPa	29000 ksi
Bulk Modulus (typical for steel)	140 GPa	20300 ksi
Poissons Ratio	0.260	0.260
Shear Modulus	79.3 GPa	11500 ksi

2.2.3. Klasifikasi Baja Karbon

Menurut Wiryosumarto (1996), baja karbon adalah paduan antara besi dan karbon dengan sedikit unsur lainnya misalnya : Si, Mn, P, S dan Cu. Sifat baja karbon sangat tergantung pada kadar karbon, bila kadar karbon naik, kekuatan dan kekerasannya juga bertambah tinggi tetapi perpanjangannya menurun. Karena itu baja karbon dapat diklasifikasikan menjadi tiga kelompok, yaitu baja karbon rendah, baja karbon sedang dan baja karbon tinggi. Berikut ini adalah jenis baja berdasarkan kandungan karbonnya :

1. Baja Karbon Rendah

Baja karbon rendah mempunyai kadar karbon kurang dari 0.3 %. Baja ini bersifat ulet dan tangguh serta mempunyai mampu mesin (*machineability*), mampu bentuk (*formability*), dan mampu las (*welability*) yang lebih baik bila dibandingkan dengan baja karbon lainnya.

Baja karbon rendah mempunyai kepekaan yang rendah terhadap retak las dibandingkan baja karbon lainnya karena mempunyai kadar karbon yang paling rendah dibanding baja karbon lainnya.

2. Baja Karbon Sedang

Baja karbon sedang mempunyai karbon 0.30% - 0.45%. Baja ini mempunyai sifat yang kuat dan keras tetapi mampu lasnya tidak sebaik baja karbon rendah.

Sifat yang mudah menjadi keras karena kadar karbon yang cukup tinggi ditambah dengan adanya hydrogen difusi menyebabkan baja ini sangat peka terhadap retak las.

3. Baja Karbon Tinggi

Baja karbon ini merupakan baja dengan kadar karbon antara 0.45% - 1.70%. Baja karbon tinggi mempunyai kekuatan

dan kekerasan yang paling tinggi dibanding baja karbon lainnya. Baja karbon ini adalah baja karbon yang paling sulit untuk dilas.

2.2.4. Struktur Mikro Baja Karbon Rendah, Sedang dan Tinggi

Berdasarkan kandungan karbon, baja dapat diklasifikasikan menjadi beberapa jenis, yaitu :

1. Baja karbon rendah : 0.1% – 0.3% karbon
2. Baja karbon sedang : 0.3% – 0.85% karbon
3. Baja karbon tinggi : 0.85% – 1.3% karbon

Struktur yang dimiliki oleh baja sangat dipengaruhi oleh kandungan karbon yang terkandung didalamnya. Pada baja karbon rendah, struktur didominasi oleh ferrit dan sedikit perlit. Pada baja karbon sedang, struktur baja terdiri dari ferrit dan perlit dengan perbandingan tergantung ada kandungan karbon karena semakin tinggi karbon semakin banyak perlitnya. Sedangkan pada baja karbon tinggi, struktur didominasi oleh perlit dan sedikit sementit.



Gambar 2.1. Struktur Mikro Baja Karbon Rendah, Sedang, Tinggi (Nizar, 2014)

2.2.5. Pengelasan

Pengelasan (*welding*) merupakan teknik penyambungan logam dengan cara mencairkan sebagian logam induk dan logam pengisi dengan atau tanpa tekanan dan dengan atau tanpa logam penambah dan menghasilkan sambungan yang terus menerus.

Teknik pengelasan dapat digunakan dalam berbagai konstruksi logam, contohnya : perkapalan, jembatan, rangka baja, bejana tekan, pipa pesat,

pipa saluran dan lain sebagainya. Las juga dapat digunakan untuk reparaasi misalnya untuk mempertebal bagian yang sudah aus, dan macam – macam reparaasi lainnya.

2.2.5.1. Klasifikasi Pengelasan

Pengelasan dibagi menjadi 3 (tiga) klasifikasi utama, yaitu : pengelasan cair, pengelasan tekan dan pematrian.

1. Pengelasan cair merupakan cara pengelasan dimana dipanaskan sampai mencair dengan sumber panas dari busur atau sumber api gas yang terbakar,
2. Pengelasan tekan merupakan cara pengelasan dengan sambungan dipanaskan dan kemudian ditekan hingga menjadi satu,
3. Pematrian merupakan cara pengelasan dimana sambungan diikat dan disatukan dengan menggunakan paduan logam yang mempunyai titik cair rendah. Dalam hal ini logam induk tidak ikut mencair.

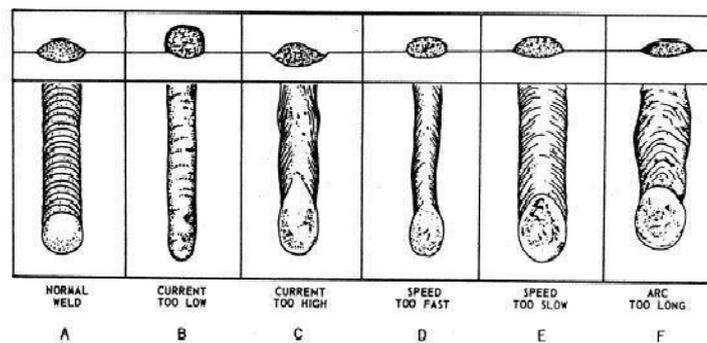
2.2.5.2. Arus Pengelasan

Besarnya aliran listrik yang dihasilkan oleh mesin las disebut dengan arus pengelasan. Arus pengelasan disesuaikan dengan jenis bahan dan diameter elektroda /yang digunakan dalam pengelasan. Untuk elektroda standart *American Welding Society* (AWS), dengan contoh AWS E7018 untuk arus pengelasan yang digunakan sesuai dengan diameter kawat las yang dipakai.

Penggunaan arus yang terlalu kecil akan mengakibatkan pengelasan tembus atau pentrasi las yang rendah, sedangkan arus yang terlalu besar dapat mengakibatkan terbentuknya manik las yang terlalu besar dan dapat mengakibatkan deformasi dalam pengelasan.

Tabel 2.3. Hubungan Diameter Elektroda dengan Arus Pengelasan (Indiarsa, 2017)

Diameter Kawat Las	Arus Las (Ampere)
1.6	25-45
2.0	50-75
2.5	75-95
3.25	95-130
4.0	135-180
5.0	155-240



Gambar 2.2. Pengaruh Arus Listrik dan Kecepatan Pengelasan Terhadap Hasil Pengelasan (Wiryosumarto, 1996)

2.2.6. Parameter Pengelasan

Nyala busur api yang stabil pada saat pengelasan merupakan masalah yang sering terjadi dalam proses pengelasan FCAW, oleh karena itu kombinasi arus listrik (I) yang digunakan dan tegangan (V) harus benar benar sesuai dengan spesifikasi kawat elektroda dan fluksi yang dipakai.

1. Pengaruh Arus Listrik (I)

Setiap kenaikan arus listrik yang dipergunakan pada saat pengelasan akan meningkatkan penetrasi serta memperbesar kuantiti lasnya. Penetrasi akan meningkat 2 mm per 100A dan kuantiti las meningkat juga 1,5 Kg/jam per 100A.

2. Pengaruh Tegangan Listrik (V)

Setiap peningkatan tegangan listrik (V) yang dipergunakan pada proses pengelasan akan semakin memperbesar jarak antara tip elektroda dengan material yang akan dilas, sehingga busur api yang terbentuk akan menyebar dan mengurangi penetrasi pada material las.

Konsumsi fluksi yang dipergunakan akan meningkat sekitar 10% pada setiap kenaikan 1 volt tegangan.

3. Pengaruh Kecepatan Pengelasan

Jika kecepatan awal pengelasan dimulai pada kecepatan 40 cm/menit, setiap penambahan kecepatan akan membuat bentuk jalur las yang kecil (*Welding Bead*), penetrasi, lebar serta kedalaman las pada benda kerja akan berkurang.

Tetapi jika kecepatan pengelasannya berkurang dibawah 40 cm/menit cairan las yang terjadi dibawah busur api las akan menyebar serta penetrasi yang dangkal, hal ini dikarenakan over heat.

4. Pengaruh Polaritas Arus Listrik (AC Dan DC)

Pengelasan dengan kawat elektroda tunggal pada umumnya menggunakan tipe arus *Direct Current* (DC), elektroda positif (EP), jika menggunakan elektroda negatif (EN) penetrasi yang terbentuk akan rendah dan kuantiti las yang tinggi.

Pengaruh dari arus *Alternating Current* (AC) pada bentuk butiran las dan kuantitatif pengelasan antara elektroda positif dan negatif adalah sama yaitu cenderung porositi, oleh karena itu dalam proses pengelasan yang menggunakan arus AC harus memakai fluks yang khusus.

2.2.7. Kawat Elektroda

Elektroda baja lunak dan baja paduan rendah untuk las busur listrik menurut klasifikasi AWS (*American Welding Society*) dinyatakan dengan tanda E XXXX yang artinya sebagai dibawah ini :

1. E menyatakan eletroda busur listrik
2. XX (dua angka)
3. Sesudah E menyatakan kekuatan tarik deposit dalam ribuan lb/in². Angka ketiga meyatakan posisi pengelasan angka 1 untuk pengelasan segala posisi. Angka 2 untuk pengelasan posisi datar dibawah tangan.

4. X (angka keempat) menyatakan jenis selaput dan jenis arus yang yang digunakan untuk pengelasan.

Contoh :

1. Kekuatan tarik 70.000 psi
2. Dapat dipakai untuk pengelasan segala posisi
3. Jenis selaput elektroda Rutil-Kalium dan pengelasan dengan arus AC atau DC, kandungan selaput serbuk besi 25%-40%, hidrogen rendah. Dan banyak digunakan untuk pengelasan pipa, plat dan konstruksi lainnya.

2.2.8. Pengelasan *Flux Core Arc Welding* (FCAW)

FCAW merupakan jenis las busur listrik yang kawat lasnya terdapat fluks (pelindung inti tengah). Las FCAW adalah kombinasi antara proses pengelasan GMAW, SMAW dan SAW. Dalam pengelasan FCAW ini sumber energi menggunakan arus listrik DC atau AC yang diambil dari pembangkit listrik atau melalui trafo dan atau rectifier. Pengelasan FCAW merupakan salah satu jenis las listrik yang proses kerjanya memasok filler elektroda atau kawat las secara mekanis terus menerus ke dalam busur listrik.

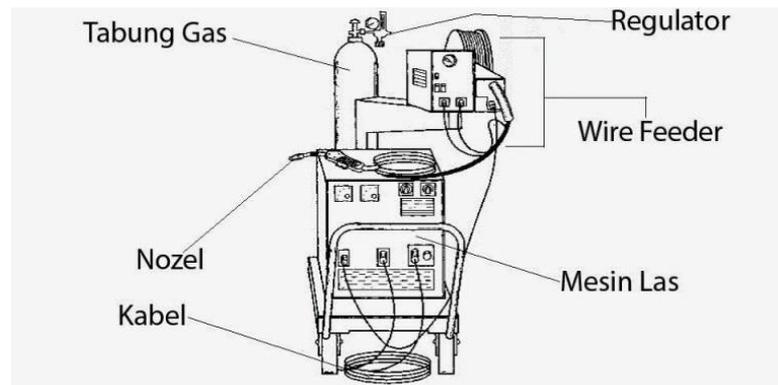
Kawat las atau elektroda yang digunakan untuk pengelasan FCAW terbuat dari logam tipis yang digulung cylindrical kemudian dalamnya diisi dengan flux yang sesuai dengan kegunaannya. Proses Pengelasan FCAW ini sebenarnya sama dengan pengelasan GMAW, namun membedakan adalah kawat las atau elektrodanya yang berbentuk tubular yang berisi fluks sedangkan GMAW berbentuk Solid.

Berdasarkan metode pelindung, pengelasan FCAW dapat dibedakan menjadi dua, yaitu :

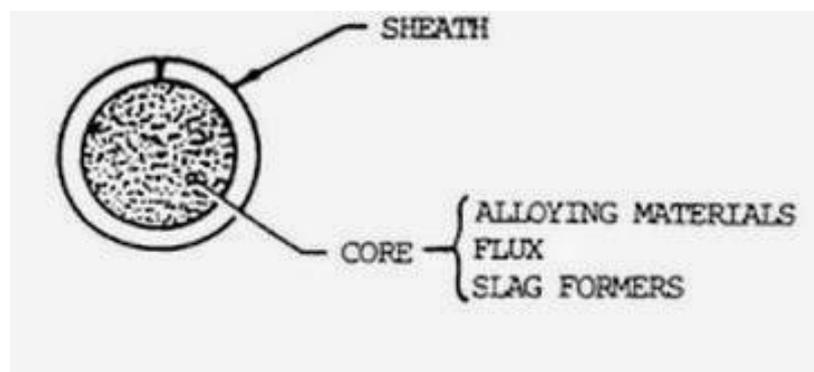
1. *Self Shielding* FCAW (Pelindungan sendiri), yaitu merupakan proses melindungi logam las yang mencair dengan menggunakan gas dari hasil penguapan atau reaksi dari inti fluks.

2. *Gas Shielding* FCAW (perlindungan gas) adalah perlindungan dengan dual gas, yaitu melindungi logam las yang mencair dengan menggunakan gas sendiri juga ditambah gas pelindung yang berasal dari luar sistem.

Berikut ini adalah gambar bagian – bagian dari mesin las FCAW dan elektrodanya seperti gambar dibawah ini :



Gambar 2.3. Mesin Las FCAW (Hastuti, 2010)



Gambar 2.4. Kawat Las FCAW (Hastuti, 2010)

Metode diatas dapat menghasilkan kerak las yang berasal dari fluk dalam kawat las yang berfungsi untuk melindungi logam las saat proses pembekuan. Tapi perbedaan metode diatas terletak pada tambahan system pemasok gas dan *welding torch* (*welding gun*) yang digunakan.

Pengelasan FCAW berdasarkan cara pengoperasiannya dapat dibedakan menjadi dua, yaitu :

1. Otomatis (*machine automatic*)
2. Semi otomatis (*semi automatic*)

Sifat utama yang dimiliki pengelasan FCAW adalah sebagai berikut :

1. FCAW mempunyai sifat metalurgy las yang bisa dikontrol dengan pemilihan fluks,
2. Las FCAW mempunyai produktivitas yang tinggi, karena dapat pasokan elektroda las yang kontinu,
3. Saat pembentukan manik atau rigi rigi las yang cair dapat dilindungi oleh slag yang tebal.

Pengelasan FCAW biasanya menggunakan gas CO₂ atau campuran CO₂ dengan argon sebagai gas pelindung. Penggunaan utama pengelasan FCAW :

1. Baja karbon (*carbon steel*)
2. Pengelasan dan pelapisan permukaan (*Steel hard facing and cladding*)
3. Baja tahan karat (*Stainless steel*)
4. Besi tuang (*Cast Iron*)
5. Baja paduan karbon rendah (*Low alloy carbon steel*)
6. Las titik baj tipis (*Sheet steel spot welding*)

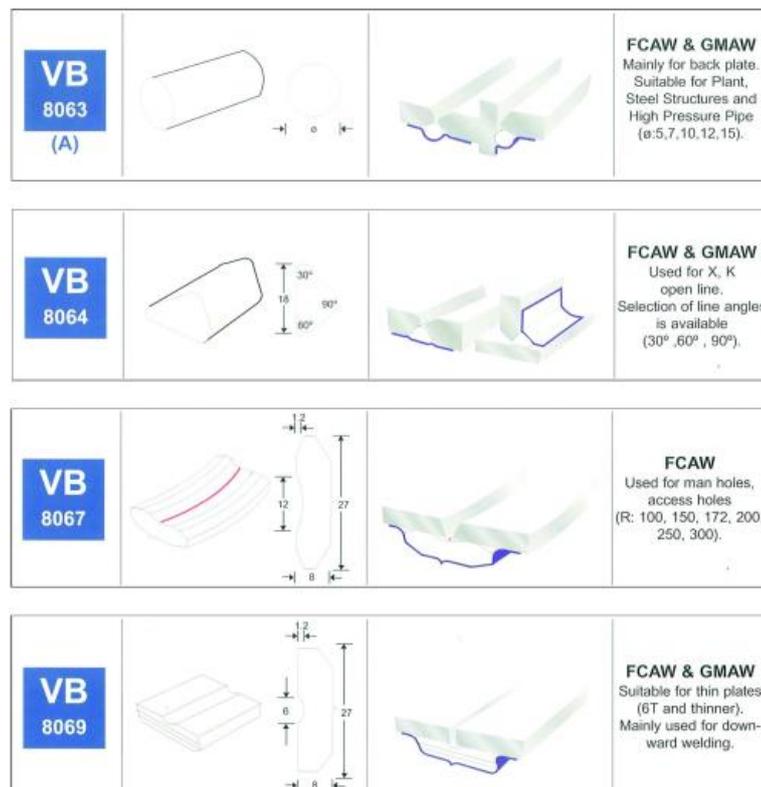
2.2.9. Backing Ceramic

Dengan menggunakan backing ceramic dapat memungkinkan pengelasan dilakukan dari satu sisi, dengan penetrasi penuh dan pengurangan (menghilangkan) kebutuhan untuk menggerinda dan mengelas kembali akar dari sisi cadangan. Backing ceramic tersedia dalam berbagai konfigurasi untuk aplikasi yang berbeda dan menghasilkan bentuk manik las yang berbeda pula.

Backing ceramic dapat digunakan pada setiap material yang dapat dilas untuk mengurangi oksidasi dan mencegah penyertaan hidrogen,

dengan memberikan pemantulan panas, permukaan pengikat las yang digunakan untuk mengurangi pemakaian las.

Dengan menghilangkan kebutuhan untuk menggerinda dan mengelas kembali dari sisi sebaliknya, dan memfasilitasi pengendapan akar dan mengisi celah tunggal, penggunaan *backing ceramic* dapat mengurangi kerja kembali, meningkatkan efisiensi dan mengurangi biaya operasional.



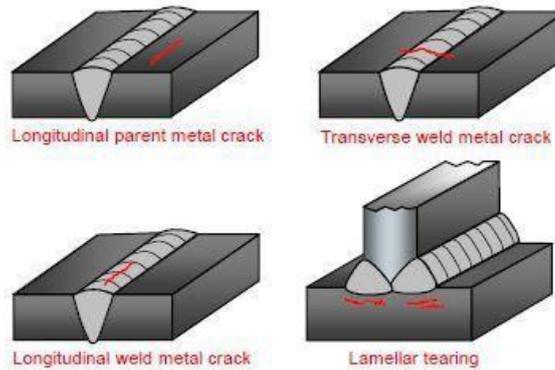
Gambar 2.5. Jenis dan Type Bahan *Backing Ceramic* (www.weldability.com)

2.2.10. Cacat Pengelasan

Dalam pengelasan tentunya sering terjadi ketidaksempurnaan saat melakukan prosesnya. Hal ini dapat dipengaruhi dari faktor internal maupun eksternal. Cacat dalam pengelasan terdapat banyak jenisnya, berikut adalah jenis-jenis cacat dalam pengelasan menurut *The Welding Institute* :

a. *Crack*

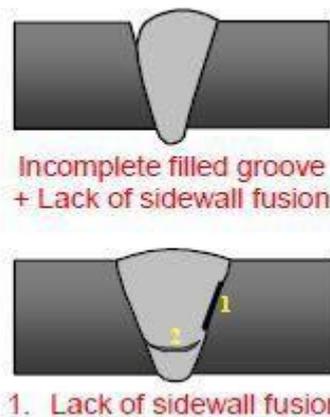
Crack merupakan jenis cacat yang terjadi pada permukaan logam las akibat dari suhu dari pendinginan yang terlalu cepat atau dapat disebabkan oleh adanya senyawa hidrogen dalam logam las yang memicu terjadinya keretakan permukaan las.



Gambar 2.6. Bentuk - Bentuk *Crack* (*The Welding Institute*)

b. *Incomplete Fusion*

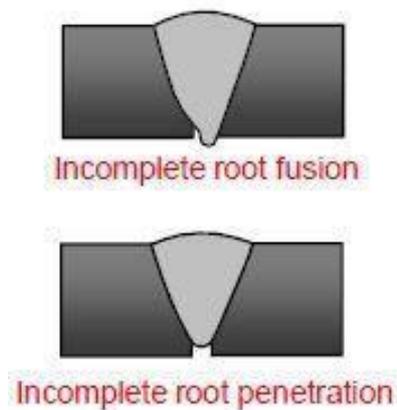
Merupakan jenis cacat las dengan indikasi tidak menyatunya logam las secara sempurna pada sisi tertentu saja dengan logam induk pada bevel yang telah dibuat. Hal ini diakibatkan oleh arus dari mesin las yang terlalu rendah dan kurangnya keterampilan *welder* dalam melakukan teknik yang dikehendaki.



Gambar 2.7. *Incomplete Fusion* (*The Welding Institute*)

c. *Incomplete Penetration*

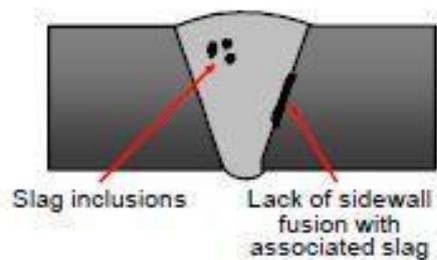
Merupakan jenis cacat las dengan indikasi bagian *root* dari pengelasan itu tidak memenuhi pada dua sisi bagian weld metal. Indikasi ini dapat diketahui dengan melihat bagian *root* dari pengelasan. Ini diakibatkan oleh ayunan yang terlalu cepat, *root gap* yang kecil, sudut *bevel* yang salah dan arus pengelasan yang rendah.



Gambar 2.8. *Incomplete Penetration (The Welding Institute)*

d. *Slag Inclusion*

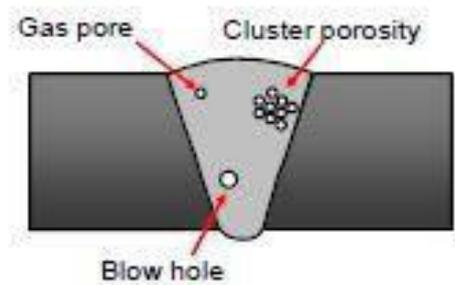
Merupakan cacat pada sambungan las akibat adanya benda asing atau sisa potongan material yang masuk pada lelehan logam las pada saat proses pengelasan. Indikasi ini biasa ditandai dengan adanya noda hitam dengan bentuk tak beraturan. Bentuknya bisa memanjang ataupun melingkar.



Gambar 2.9. *Slag Inclusion (The Welding Institute)*

e. *Porosity*

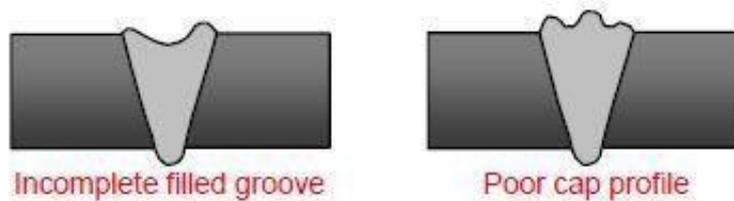
Merupakan cacat las akibat adanya kontaminasi dari gas pelindung pada saat melakukan proses las. Hal ini disebabkan oleh panjang busur pengelasan yang terlalu besar, logam induk yang dilas terlalu lembut, dan arus las yang terlalu rendah. *Porosity* memiliki indikasi berbentuk bulat halus berwarna hitam.



Gambar 2.10. *Porosity* (The Welding Institute)

f. *Sagging*

Merupakan jenis cacat las dengan bentuk pada bagian *capping* dengan indikasi banyaknya cekungan dipermukaan logam las. Cekungan ini terjadi di beberapa tempat sehingga menjadikan permukaan logam las bergelombang. Hal ini dapat mengakibatkan konsentrasi tegangan akibat tidak menyatunya kaki logam dengan logam las.



Gambar 2.11. *Sagging* (The Welding Institute)

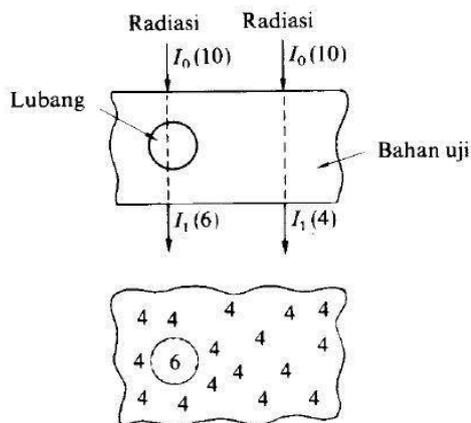
2.2.11. Pengujian *Non Destructive Test* (NDT)

Pengujian ini dilakukan tanpa merusak bagian – bagian konstruksi yang diuji. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui cacat baik diluar maupun didalam material.

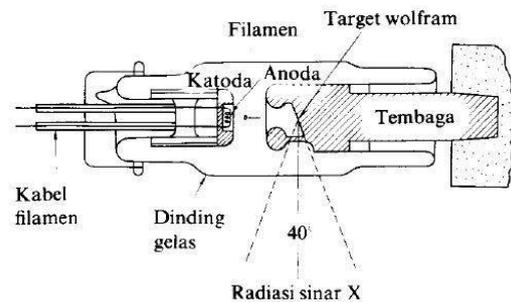
Pengujian ini tidak dapat mengetahui sifat mekanis material secara detail. Macam – macam pengujian NDT terdapat banyak tetapi pada kasus ini yang digunakan adalah *radiography testing* saja.

2.2.11.1. Radiography Testing

Pengujian ini merupakan pengujian dengan menggunakan sinar X dan sinar gamma untuk mendeteksi cacat pada bagian permukaan material.



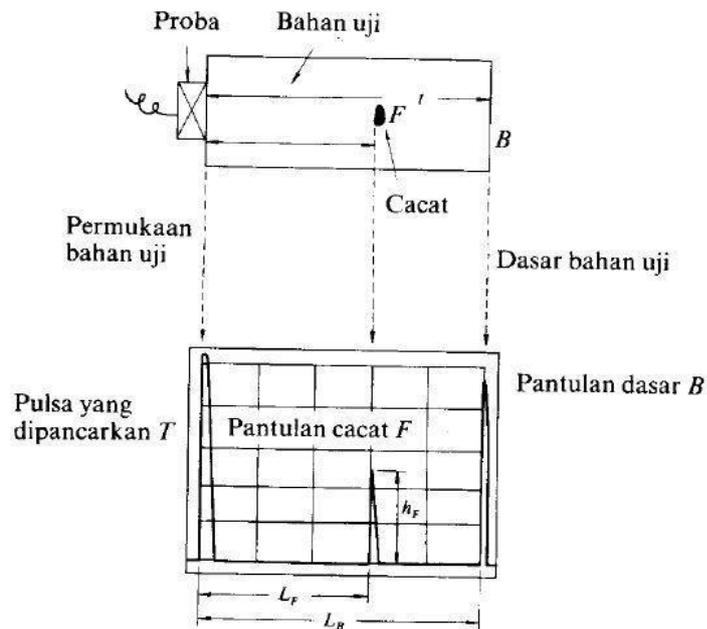
Gambar 2.12. Dasar Uji Radiografi (Hastuti. 2010)



Gambar 2.13. Konstruksi Tabung X-ray (Hastuti. 2010)

1. Cara menghasilkan sinar X : dihasilkan dengan cara menumbuk elektron yang dilepaskan oleh katoda pada anoda di dalam suatu tabung hampa udara,
2. Cara menghasilkan sinar Gamma : unsur radioaktif yang tidak stabil atau sering disebut radio isotop dalam proses menuju kestabilannya akan memancarkan gelombang elektro magnet yang dinamakan sinar gamma. Biasanya isotope yang digunakan antara lain: Secium (Cs) , Iridium (Ir) dan Tulium (Tm).

Pemancaran sinar Gamma dapat dilakukan dengan cara pemancaran satu arah yang dilakukan dengan membuka tutup tabung pelindung, pemancaran silinder yang dilakukan dengan membuka pelindung



Gambar 2.14. Diagram Rambatan Puls

2.2.12. Pengujian *Destructive Test* (DT)

Pengujian ini merupakan pengujian terhadap model konstruksi las atau pada batang – batang uji dengan proses las yang sama yang akan digunakan sampai terjadi kerusakan.

Pengujian batas luluh dari konstruksi yang paling baik yaitu pada konstruksi aslinya. Tetapi, seringkali pengujian ini dilakukan pada modelnya saja. Tetapi sampai saat ini hubungan pengujian konstruksi asli dengan modelnya tidak jelas.

2.2.12.1. Uji Tarik (*Tensile Test*)

Pengujian tarik bertujuan untuk mendapatkan sifat mekanik dari material. Dari sini akan didapatkan kekuatan tarik dari material. Beberapa data yang didapatkan antara lain: kekuatan tarik *ultimate*, kekuatan luluh, titik luluh terjadi, luasan reduksi, diagram tegangan regangan, lokasi dan bentuk patahan. Berikut adalah indikator yang didapatkan berdasarkan standard AWS d1.1.

a. *Ultimate Tensile Strength*

$$\text{Tegangan ultimate} = \frac{F_{ulti} \times 1000}{A} \dots\dots\dots 1$$

$$\text{Tegangan yield} = \frac{F_{yield} \times 1000}{A_o} \dots\dots\dots 2$$

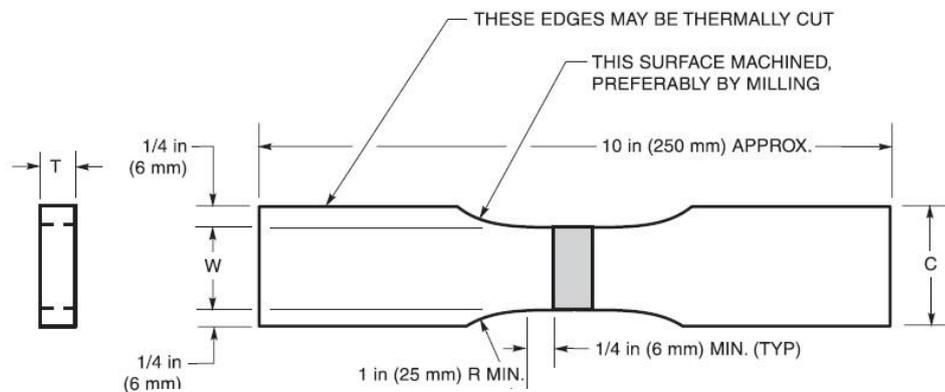
Dengan,

F_{ulti} = gaya ultimate pada struktur atau benda uji

F_{yield} = gaya yield pada struktur atau benda uji

A_o = luasan permukaan awal pada struktur atau benda uji

Persiapan *specimen* untuk uji tarik :



Gambar 2.15. Spesimen Uji Tarik

2.2.12.2. Pengujian Bending

Uji lengkung (bending test) merupakan salah satu pengujian untuk menentukan mutu material secara visual. Selain itu uji bending digunakan untuk mengukur kekuatan material akibat pembebanan dan kekenyalan hasil sambungan las baik di weld metal maupun di HAZ. Dalam pemberian beban dan penentuan dimensi mandrel ada beberapa faktor yang harus diperhatikan, yaitu :

1. Kekuatan (*tensile strength*)
2. Komposisi kimia dan struktur makro
3. Tegangan luluh (*yield*)

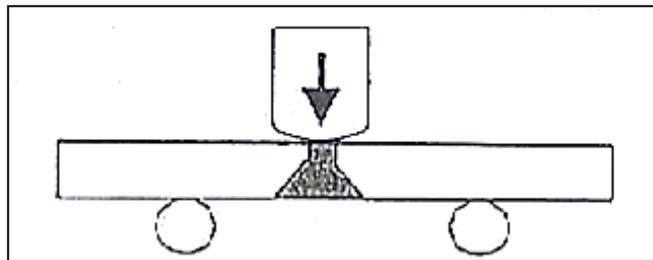
Berdasarkan posisi pengambilan spesimen, uji bending dapat dibedakan menjadi 2 yaitu transversal bending dan longitudinal bending.

a. *Transversal Bending*

Pada *transversal bending* ini, pengambilan spesimen tegak lurus dengan arah pengelasan. Berdasarkan arah pembebanan dan lokasi pengamatan, pengujian *transversal bending* ini dibagi menjadi tiga, yaitu :

➤ *Face Bend* (bending pada permukaan las)

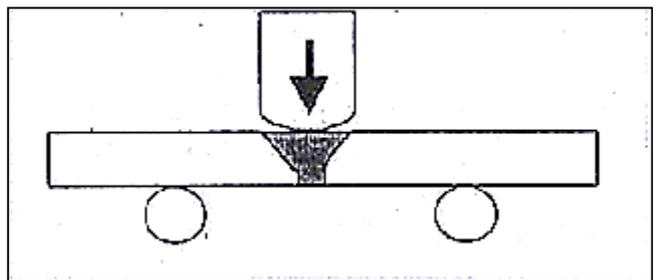
Face bend adalah jika bending dilakukan sehingga permukaan las mengalami tegangan dan dasar las mengalami tegangan tekan. Pengamatan dilakukan pada permukaan yang mengalami tegangan apakah mengalami retak atau tidak. Jika timbul retak dimanakah retaknya, apakah di *weld metal*, HAZ, atau di *fusion line* (garis perbatasan *weld metal* dan HAZ).



Gambar 2.16. *Face Bend* pada *Transversal Bending* (Kenyon, 1985)

➤ *Root Bend* (bending pada akar las)

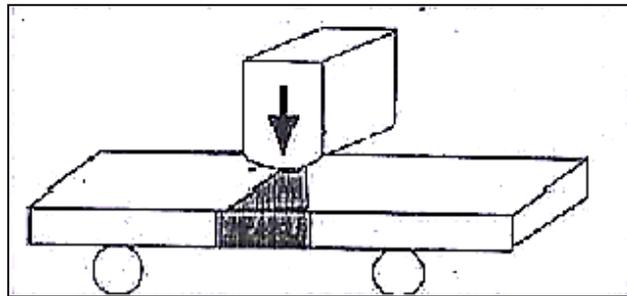
Root bend adalah jika *bending* dilakukan sehingga akar las mengalami tegangan dan dasar las mengalami tegangan. Pengamatan dilakukan pada akar las yang mengalami tegangan, apakah timbul retak atau tidak. Jika timbul retak dimanakah letaknya, apakah di *weld metal*, HAZ atau di *fusion line* (garis perbatasan *weld metal* dan HAZ).



Gambar 2.17. *Root Bend* pada *Transversal Bending* (Kenyon, 1985)

➤ *Side Bend* (bending pada sisi las)

Side bend adalah jika dilakukan sehingga sisi las. Pengujian ini dilakukan jika ketebalan material yang dilas lebih besar dari 3/8 inch. Pengamatan dilakukan pada sisi las tersebut, apakah timbul retak atau tidak. Jika timbul retak dimanakah letaknya, apakah di *weld metal*, HAZ atau di *fusion line* (garis perbatasan *weld metal* dan HAZ).



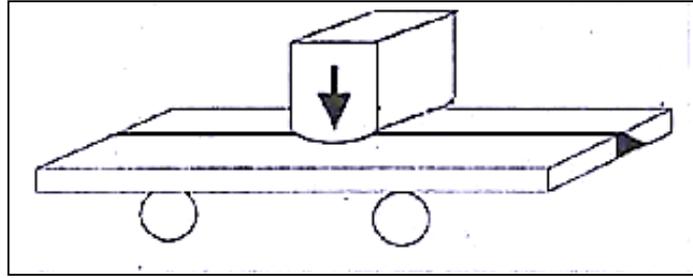
Gambar 2.18. *Side Bend* pada *Transversal Bending* (Kenyon, 1985)

b. Longitudinal Bending

Pada longitudinal bending pengambilan spesimen searah dengan arah pengelasan berdasarkan arah pembebanan dan lokasi pengamatan. Pengujian longitudinal bending dibagi menjadi dua, yaitu :

➤ *Face Bend* (bending pada permukaan las)

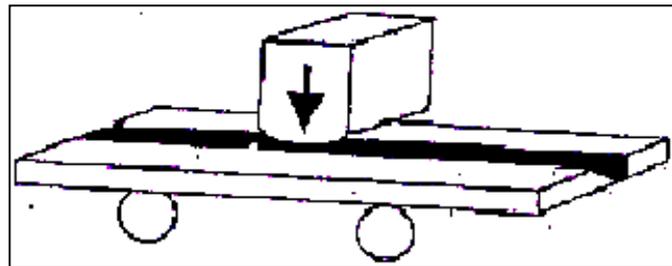
Face bend adalah jika bending dilakukan sehingga permukaan las mengalami tegangan dan dasar las mengalami tegangan tekan. Pengamatan dilakukan pada permukaan yang mengalami tegangan apakah mengalami retak atau tidak. Jika timbul retak dimanakah retaknya, apakah di *weld metal*, HAZ, atau di *fusion line* (garis perbatasan *weld metal* dan HAZ).



Gambar 2.19. *Face Bend* pada *Longitudinal Bending* (Kenyon, 1985)

➤ *Root Bend* (bending pada akar las)

Root bend adalah jika *bending* dilakukan sehingga akar las mengalami tegangan dan dasar las mengalami tegangan. Pengamatan dilakukan pada akar las yang mengalami tegangan, apakah timbul retak atau tidak. Jika timbul retak dimanakah letaknya, apakah di *weld metal*, HAZ atau di *fusion line* (garis perbatasan *weld metal* dan HAZ).



Gambar 2.20. *Root Bend* pada *Longitudinal Bending* (Kenyon, 1985)

2.2.12.3. Pengujian Metalografi

Metalografi adalah sebuah disiplin ilmu yang mempelajari karakteristik mikrostruktur suatu logam dan paduannya. Karakteristik dari suatu logam dan paduannya sangatlah berhubungan dengan sifat mekanik yang dimiliki. Berdasarkan pengamatan mikrostruktur ini akan dapat diketahui morfologi dan fase-fase yang terbentuk pada suatu logam dan paduannya. Terdapat beberapa metode yang digunakan dalam pengujian metalografi antara lain: difraksi (sinar-X, elektron, dan neutron), mikroskop (optik maupun elektron), analisis (X-ray fluorescence maupun elektron mikroprobe), dan juga stereometric metalografi. Pada penelitian ini digunakan pengujian

metalografi dengan metode mikroskop, sehingga pemahaman mengenai konsep dasar mikroskop baik optik maupun elektron sangat diperlukan.

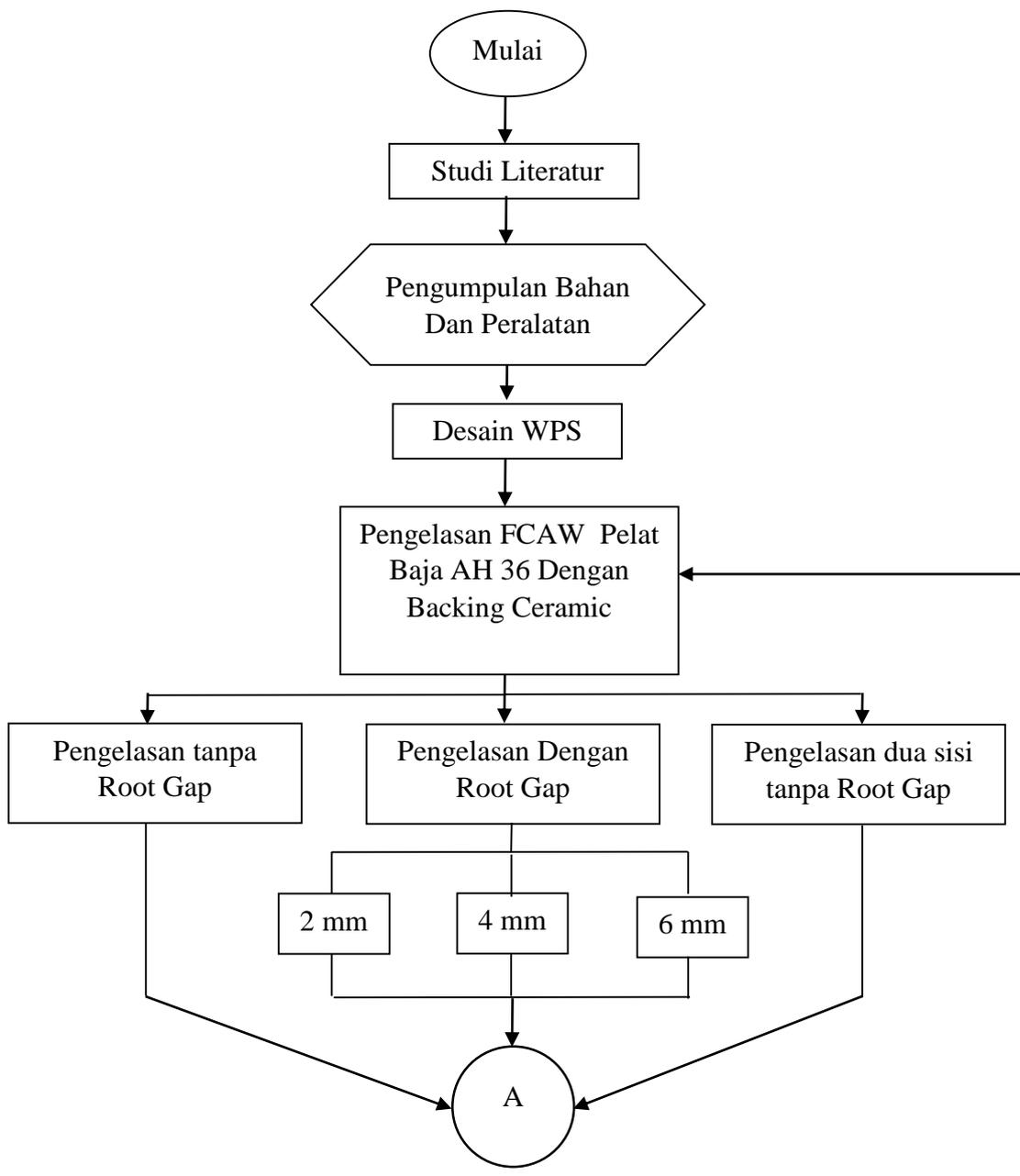
Mikroskop optik merupakan mikroskop sederhana yang dilengkapi bagian-bagian seperti cermin, *slide* mikroskop, lensa obyektif, dan lensa okuler. Cermin cekung berfungsi untuk mengumpulkan cahaya pada sampel yang ditempatkan pada slide. Cahaya tersebut akan dipantulkan dan difokuskan oleh lensa obyektif menuju lensa okuler. Pada lensa okuler inilah dibentuk sebuah gambar yang dapat diamati oleh mata atau kamera. Sedangkan mikroskop elektron adalah mikroskop yang membentuk citra atau gambar dari obyek yang diamati menggunakan interaksi antara berkas elektron terfokus yang dipindahkan pada permukaan spesimen yang dianalisis. Komponen-komponen utama yang terdapat pada SEM (*Scanning Electron Microscope*) ini antara lain : kolom elektron, ruang spesimen, sistem pompa vakum, sistem kontrol elektron, dan pencitraan.

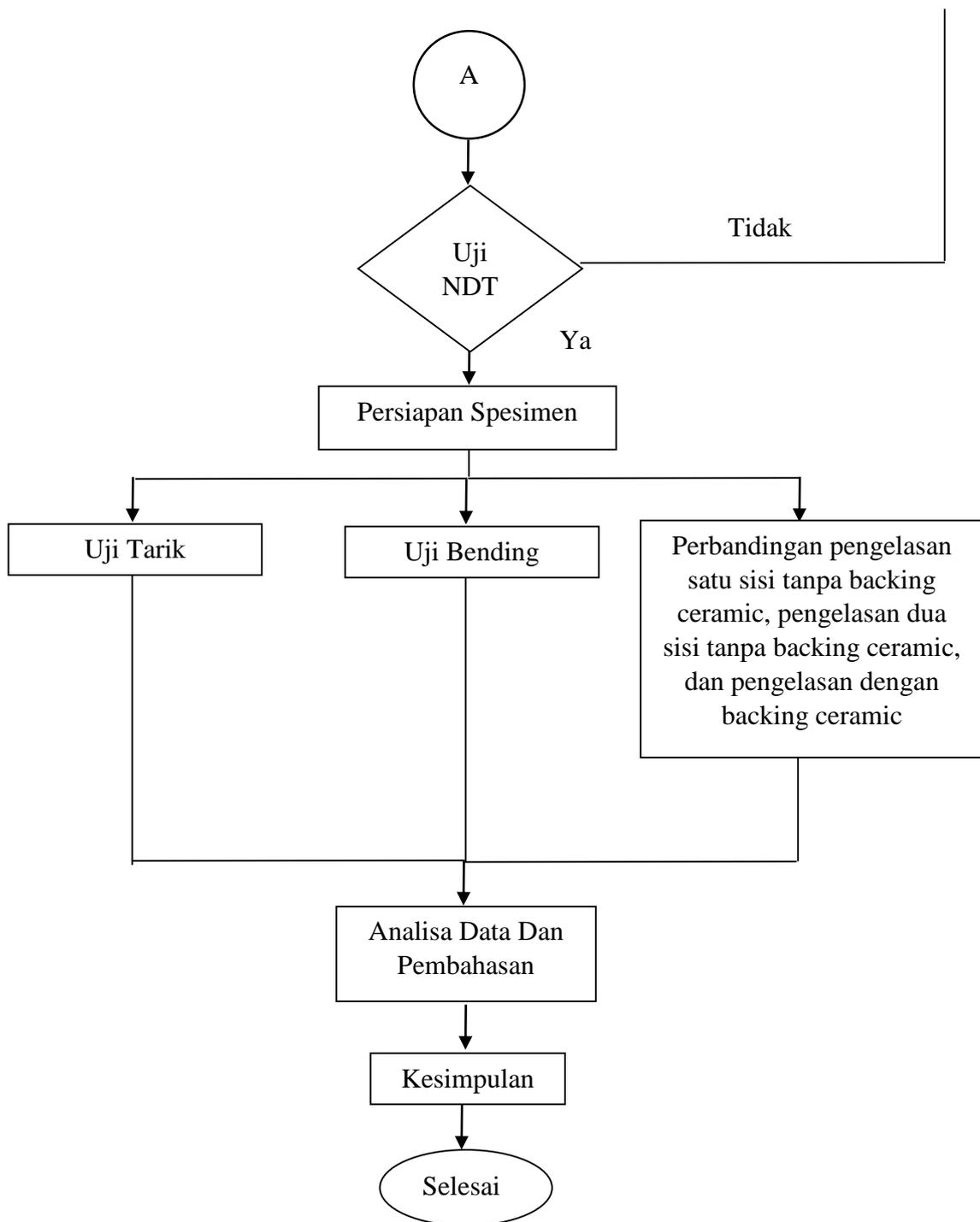
BAB 3

METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Diagram Alir (*Flow Chart*)

Berikut adalah diagram alir rencana penelitian pada penulisan tugas akhir. Terdapat langkah – langkah dalam penulisan yaitu sebagai berikut :





Gambar 3.1. Diagram Alir Penelitian

3.2. Penjelasan Diagram Alir

1. Studi Literatur

Studi literatur yang dilakukan meliputi, mencari referensi dari jurnal nasional maupun internasional, buku diktat, buku referensi, kumpulan skripsi dan tugas akhir untuk menunjang pembahasan mengenai rumusan masalah, dasar teori, dan ruang lingkup dari penelitian.

2. Pengumpulan Alat dan Bahan

Dalam melakukan penelitian ini adapaun peralatan dan bahan yang harus digunakan antara lain:

- a. Pelat baja AH 36
- b. Backing ceramic
- c. Penggaris
- d. Alat tulis
- e. Sarung tangan
- f. Masker
- g. Sikat baja
- h. Palu
- i. Pelindung mata
- j. Bak las
- k. Mesin las FCAW
- l. Penjepit besi
- m. Cattlepack

3. Desain *Welding Procedur Spesification* (WPS)

Dalam hal ini peneliti dan *welder* mempersiapkan rancangan sebelum proses pengelasan agar proses pengelasan yang dilakukan dapat berjalan dengan baik dengan hasil yang baik. Parameter yang ditentukan dalam desain WPS antara lain:

- a. Jenis material
- b. Posisi pengelasan
- c. Jenis proses las
- d. Panjang specimen

- e. Elektroda pengisi
 - f. Lebar specimen
 - g. Bentuk dan sudut groove
 - h. Arus, tegangan, waktu, dan kecepatan ayunan
4. Pengelasan FCAW Plat Baja AH 36

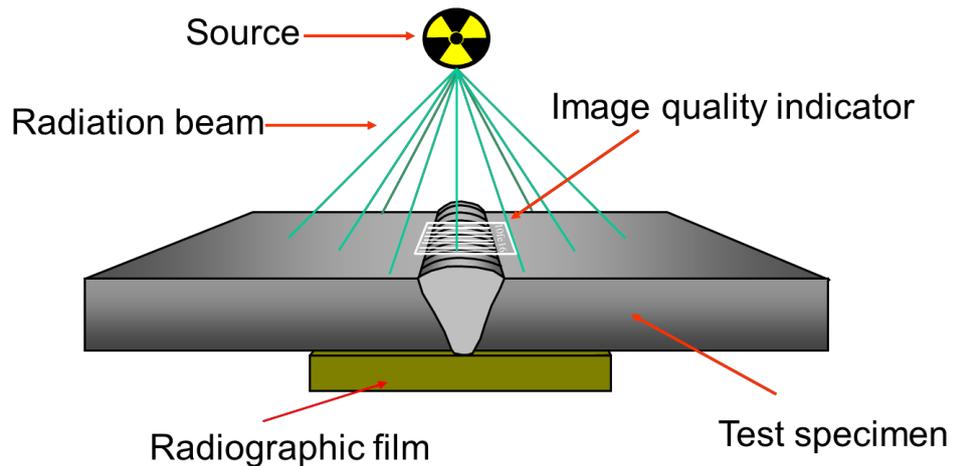
Setelah semua peralatan dan bahan telah siap, pengelasan dapat dilakukan. Pengelasan root gap dengan backing ceramic :

- Pertama kita perlu menggunakan seluruh peralatan pengaman yaitu cattlepack, sarung tangan, masker, pelindung mata, dan sepatu safety,
- Mesin las FCAW mulai dinyalakan dan dilakukan tes elektroda pada pelat bekas untuk memanaskan busur,
- Pengelasan dimulai dengan root gap pertama 2 mm, kedua 4 mm, dan ketiga 6 mm,
- Material baja KIA yang telah disiapkan dan telah dikasih celah mulai untuk proses pengelasan,
- Pengelasan dilakukan dengan kecepatan ayunan yang stabil,
- Setelah proses pengelasan selesai, ambil specimen dan tunggu selama 5 – 7 menit,
- Setelah dingin, hilangkan kerak pada sambungan las dengan palu dan sikat besi.

5. Pengujian NDT

Pengujian NDT ini dilakukan pada 4 buah spesimen yang telah dilas sebelumnya untuk mengetahui apakah ada cacat pengelasan, sehingga pada saat melakukan pengujian untuk mengetahui sifat mekanik material tidak terjadi kegagalan.

Apabila seluruh hasil pengelasan telah diperiksa dan tidak ada cacat, maka pengujian laboratorium dapat dilaksanakan. Pengujian NDT menggunakan teknik Radiografi. Sinar yang digunakan dapat berupa X-ray ataupun sinar gamma. Hasil penembakkan sinar akan terbaca pada film yang sudah disediakan sebelumnya.



Gambar 3.2. Proses Pengujian Radiografi (Jaya, 2017)

6. Pengujian Tarik

Uji tarik dilakukan agar kita dapat mengetahui kekuatan tarik maksimal dan kekuatan tarik luluh pada material baja yang sudah dilas sebelumnya. Untuk melakukan pengujiannya, standard yang digunakan mengacu pada AWS D1.1 – *structural welding code steel*. Proses pengujian ini adalah sebagai berikut :

- Spesimen uji dipasang pada mesin tarik
- Kemudian, spesimen uji dijepit dengan pencekram (grip) dari mesin tarik pada ujung-ujungnya
- Setelah itu, spesimen ditarik memanjang secara perlahan sampai putus.
- Ulangi proses pada semua spesimen yang akan diuji.

Setiap penarikan spesimen akan tercatat setiap saat dengan grafik yang tersedia pada mesin tarik. Besarnya gaya tarik yang bekerja sebagai akibat dari gaya tarik yang tersedia.

7. Pengujian *Bending*

Pengujian *bending* yang dilakukan berupa *root bend*. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui kekuatan mekanis dari *root* tersebut.

Langkah-langkah pengujian *bending* sebagai berikut :

- Letakkan spesimen uji *bending* pada mesin *bending*

- Untuk pengujian *root bend* atau dasar las diletakkan pada bantalan U agar akar las mengalami tegangan tarik dan permukaan las mengalami tegangan tekan.
- Peletakkan spesimen uji harus tepat ditengah bantalan U agar didapatkan hasil yang bagus.
- Turunkan *bending* secara perlahan hingga ujung penekan mengenai spesimen uji, selanjutnya turunkan alat *bending* secara perlahan agar mendesak spesimen kebawah.
- Pengujian dilakukan hingga material mengalami perubahan bentuk dan amati permukaan dari spesimen uji.
- Setelah dilakukan uji *bending* terdapat cacat, ukur dan catat pada lembar kerja ukuran dan jenis cacat pada pengujian tersebut.
- Ulangi semua langkah diatas untuk semua spesimen uji *bending*

BAB 4
ANALISA DAN PEMBAHASAN

4.1. *Welding Procedure Spesification (WPS)*

Proses pengelasan dilakukan di Laboratorium Welding Centre Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, adapun mengenai *Welding Procedure Spesification* pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

Tabel 4.1. *Welding Procedure Spesification (WPS)*

<i>Welder</i>	Rahmat (PPNS)
<i>Welding Process</i>	FCAW
<i>Joint Design</i>	Butt Joint
<i>Groove</i>	Single V
<i>Root Gap</i>	2 mm, 4 mm, 6 mm
<i>Base Metal</i>	AH 36 / t : 12 mm
<i>Filler Metal</i>	ER 71 – T
<i>Position</i>	1G
<i>Gas</i>	CO ₂
<i>Flow Rate</i>	15 L/menit
<i>Backing</i>	Keramik 10 mm

Pembuatan *welding procedure spesification (WPS)* dilakukan agar proses pengelasan sesuai dengan apa yang sudah direncanakan. Hal ini dilakukan untuk menyatukan pemikiran penulis dengan welder agar didapatkan hasil yang baik.

4.1.1. *Welding Procedure Spesification (WPS) Pada Material Gap 2 mm tanpa Backing Ceramic*

Pada pengelasan material baja AH 36 dengan gap 2 mm tanpa menggunakan backing ceramic dengan elektroda ER71T dengan diameter 1,2 mm mempunyai 4 layer pengelasan dimana polaritas pengelasan DCRP / DCEP. Adapun parameter – parameternya adalah kuat arus sebesar 160 Ampere, tegangan busur 24 – 28 volt, kecepatan rata – rata pengelasan didapatkan sebesar 85 mm/min, dan aliran gas 15L/menit. Adapun lebih jelasnya data yang diperoleh dari hasil pengelasan dapat dilihat pada tabel 4.2 dibawah ini.

Tabel 4.2. *Welding Procedure Spesification (WPS) Pada Material Gap 2 mm Tanpa Backing Ceramic*

Layer	Process	Filler Metal		Current		Volt Range	Travel Speed
		Class	Diameter	Polarity	Ampere		
1	FCAW	ER 71 T	1,2 mm	DCRP	160	24 – 28	74 det
2	FCAW	ER 71 T	1,2 mm	DCRP	160	24 – 28	80 det
3	FCAW	ER 71 T	1,2 mm	DCRP	160	24 – 28	86 det
4	FCAW	ER 71 T	1,2 mm	DCRP	160	24 – 28	98 det

4.1.2. *Welding Procedure Spesification (WPS) Pada Material Gap 2 mm Pengelasan Dua Sisi tanpa Backing Ceramic*

Pada pengelasan material baja AH 36 dengan gap 2 mm dengan pengelasan dua sisi tanpa menggunakan backing ceramic dengan elektroda ER71T dengan diameter 1,2 mm mempunyai 4 layer pengelasan dimana polaritas pengelasan DCRP / DCEP. Adapun parameter – parameternya adalah kuat arus sebesar 160 Ampere, tegangan busur 24 – 28 volt, kecepatan rata – rata pengelasan didapatkan sebesar 85 mm/min, dan aliran gas 15L/menit. Adapun lebih jelasnya data yang diperoleh dari hasil pengelasan dapat dilihat pada tabel 4.3 dibawah ini.

Tabel 4.3. *Welding Procedure Spesification (WPS) Pada Material Gap 2 mm Pengelasan Dua Sisi tanpa Backing Ceramic*

Layer	Process	Filler Metal		Current		Volt Range	Travel Speed
		Class	Diameter	Polarity	Ampere		
1	FCAW	ER 71 T	1,2 mm	DCRP	160	24 – 28	76 det
2	FCAW	ER 71 T	1,2 mm	DCRP	160	24 – 28	82 det
3	FCAW	ER 71 T	1,2 mm	DCRP	160	24 – 28	84 det
4	FCAW	ER 71 T	1,2 mm	DCRP	160	24 – 28	97 det

4.1.3. Welding Procedure Spesification (WPS) Pada Material Gap 2 mm dengan Backing Ceramic

Pada pengelasan material baja AH 36 dengan gap 2 mm dengan menggunakan backing ceramic dengan ukuran lengkung 10 mm dan elektroda ER71T dengan diameter 1,2 mm mempunyai 4 layer pengelasan dimana polaritas pengelasan DCRP / DCEP. Adapun parameter – parameternya adalah kuat arus sebesar 160 Ampere, tegangan busur 24 – 28 volt, kecepatan rata – rata pengelasan didapatkan sebesar 73 mm/min, dan aliran gas 15L/menit. Adapun lebih jelasnya data yang diperoleh dari hasil pengelasan dapat dilihat pada tabel 4.4 dibawah ini.

Tabel 4.4. *Welding Procedure Spesification (WPS) Pada Material Gap 2 mm dengan Backing Ceramic*

Layer	Process	Filler Metal		Current		Volt Range	Travel Speed
		Class	Diameter	Polarity	Ampere		
1	FCAW	ER 71 T	1,2 mm	DCRP	160	24 - 28	68 det
2	FCAW	ER 71 T	1,2 mm	DCRP	160	24 - 28	72 det
3	FCAW	ER 71 T	1,2 mm	DCRP	160	24 - 28	78 det
4	FCAW	ER 71 T	1,2 mm	DCRP	160	24 - 28	75 det

4.1.4. *Welding Procedure Spesification (WPS) Pada Material Gap 4 mm dengan Backing Ceramic*

Pada pengelasan material baja AH 36 dengan gap 4 mm dengan menggunakan backing ceramic dengan ukuran lengkung 10 mm dan elektroda ER71T dengan diameter 1,2 mm mempunyai 4 layer pengelasan dimana polaritas pengelasan DCRP / DCEP. Adapun parameter – parameter nya adalah kuat arus sebesar 160 Ampere, tegangan busur 24 – 28 volt, kecepatan rata – rata pengelasan didapatkan sebesar 77 mm/min, dan alliran gas 15L/menit. Adapun lebih jelasnya data yang diperoleh dari hasil pengelasan dapat dilihat pada tabel 4.5 dibawah ini.

Tabel 4.5. *Welding Procedure Spesification (WPS) Pada Material Gap 4 mm dengan Backing Ceramic*

Layer	Process	Filler Metal		Current		Volt Range	Travel Speed
		Class	Diameter	Polarity	Ampere		
1	FCAW	ER 71 T	1,2 mm	DCRP	160	24 - 28	75 det
2	FCAW	ER 71 T	1,2 mm	DCRP	160	24 - 28	70 det
3	FCAW	ER 71 T	1,2 mm	DCRP	160	24 - 28	80 det
4	FCAW	ER 71 T	1,2 mm	DCRP	160	24 - 28	84 det

4.1.5. *Welding Procedure Spesification (WPS) Pada Material Gap 6 mm dengan Backing Ceramic*

Pada pengelasan material baja AH 36 dengan gap 6 mm dengan menggunakan backing ceramic dengan ukuran lengkung 10 mm dan elektroda ER71T dengan diameter 1,2 mm mempunyai 4 layer pengelasan dimana polaritas pengelasan DCRP / DCEP. Adapun parameter – parameter nya adalah kuat arus sebesar 160 Ampere, tegangan busur 24 – 28 volt, kecepatan rata – rata pengelasan didapatkan sebesar 88 mm/min, dan alliran gas 15L/menit. Adapun lebih jelasnya data yang diperoleh dari hasil pengelasan dapat dilihat pada tabel 4.5 dibawah ini.

Tabel 4.6. *Welding Procedure Specification (WPS) Pada Material Gap 6 mm dengan Backing Ceramic*

Layer	Process	Filler Metal		Current		Volt Range	Travel Speed
		Class	Diameter	Polarity	Ampere		
1	FCAW	ER 71 T	1,2 mm	DCRP	160	24 - 28	85 det
2	FCAW	ER 71 T	1,2 mm	DCRP	160	24 - 28	80 det
3	FCAW	ER 71 T	1,2 mm	DCRP	160	24 - 28	90 det
4	FCAW	ER 71 T	1,2 mm	DCRP	160	24 - 28	98 det

4.2. Hasil Pengelasan

Variasi *root gap* yang digunakan pada pengelasan FCAW dalam penelitian ini adalah 2 mm, 4 mm, dan 6 mm dengan material baja AH 36. Proses pengelasan dilakukan sesuai dengan *welding procedure specification* (WPS) yang sudah ditentukan sebelumnya.



Gambar 4.1. *Persiapan Material Pelat Baja AH 36 Dengan Backing Ceramic*



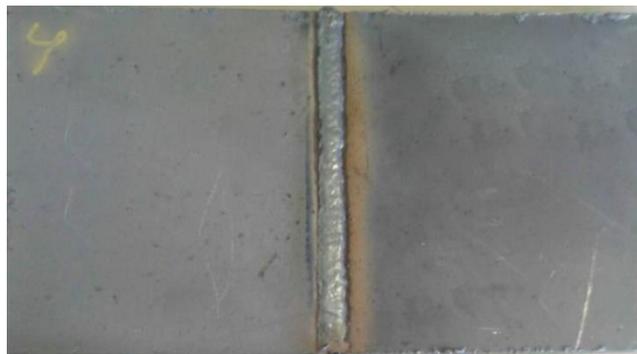
Gambar 4.2. *Plat Material Baja AH 36 Dengan Gap 2 mm Setelah Pengelasan Tanpa Backing Ceramic*



Gambar 4.3. Plat Material Baja AH 36 Dengan Gap 2 Mm Setelah Pengelasan Dengan *Backing Ceramic*



Gambar 4.4. Plat Material Baja AH 36 Dengan Gap 4 Mm Setelah Pengelasan Dengan *Backing Ceramic*



Gambar 4.5. Plat Material Baja AH 36 Dengan Gap 6 Mm Setelah Pengelasan Dengan *Backing Ceramic*



Gambar 4.6. Plat Material Baja AH 36 Setelah Pengelasan Dua sisi tanpa *Backing Ceramic*

4.3.Uji Radiografi

Setelah proses pengelasan selesai dilakukan, proses selanjutnya yaitu dilakukan inspeksi terhadap hasil pengelasan tersebut untuk mengetahui cacat las yang terjadi. Inspeksi yang dilakukan adalah uji radiografi yang dilakukan di PT. Robutech Surabaya yang beralamat di Semolowaru Selatan No. 25, Sukolilo, Surabaya, Jawa Timur. Uji radiografi dilakukan untuk mengetahui cacat las yang terjadi dan didalam hasil pengelasan. Pada proses pengujian, sinar yang digunakan adalah sinar γ (gamma).

4.3.1 Hasil Radiografi Pengelasan Gap 2 mm tanpa Backing Ceramic

Pada hasil pengelasan gap 2 mm tanpa backing ceramic didapatkan jenis cacat las *porosity*, jenis cacat ini adalah jenis cacat yang sering terjadi pada saat proses pengelasan dilakukan. Bentuk cacat *porosity* adalah berupa gelembung yang terjebak di dalam lasan berupa rongga-rongga kecil berbentuk bola yang mengelompok pada lokasi-lokasi lasan. Terkadang juga bisa terjadi rongga besar berbentuk bola yang tunggal atau tidak mengelompok.

Pada *acceptance criteria* berdasarkan ASME Section IX Non Destructive Testing pada *Welder Qualification*, jenis cacat *porosity* termasuk kategori *rounded indication*. Diameter *porosity* dari hasil pengelasan tidak boleh melebihi dari 20% atau 2,4 mm untuk ketebalan

material 12 mm. Pada hasil yang diperoleh terdapat *porosity* sebesar 0,5 mm. Sehingga dapat disimpulkan bahwa hasil pengelasan tersebut sudah memenuhi kriteria yang diberikan. Adapun hasil dari uji radiografi dapat dilihat pada gambar 4.7 dibawah ini.



Gambar 4.7. Film Hasil Radiografi Pengelasan FCAW Dengan Gap 2 mm tanpa *Backing Ceramic*

4.3.2 Hasil Radiografi Pengelasan Gap 2 mm dengan *Backing Ceramic*

Pada hasil pengelasan gap 2 mm dengan backing ceramic didapatkan jenis cacat las *porosity*. Pada *acceptance criteria* berdasarkan ASME *Section IX Non Destructive Testing* pada *Welder Qualification*, jenis cacat *porosity* termasuk kategori *rounded indication*. Diameter *porosity* dari hasil pengelasan tidak boleh melebihi dari 20% atau 2,4 mm untuk ketebalan material 12 mm. Pada hasil yang diperoleh terdapat *porosity* dengan jumlah 2 dengan nilai masing-masing sebesar 0,5 mm dan 1 mm. Sehingga dapat disimpulkan bahwa hasil pengelasan tersebut sudah memenuhi kriteria yang diberikan. Adapun hasil dari uji radiografi dapat dilihat pada gambar 4.8 dibawah ini.



Gambar 4.8. Film Hasil Radiografi Pengelasan FCAW Dengan Gap 2 mm Dengan *Backing Ceramic*

4.3.3 Hasil Radiografi Pengelasan Gap 4 mm dengan Backing Ceramic

Pada hasil pengelasan gap 4 mm dengan backing ceramic didapatkan hasil yang baik, karena tidak terdapat cacat pengelasan baik cacat las porosity maupun cacat las yang lain. Pengelasan seperti ini yang diharapkan oleh welder, karena dengan tidak adanya cacat las yang terjadi dapat mengurangi resiko material tersebut mengalami kegagalan. Sehingga dapat disimpulkan bahwa hasil pengelasan ini memenuhi kriteria yang diberikan. Adapun hasil uji radiografi dapat dilihat pada gambar 4.9 dibawah ini.



Gambar 4.9. Film Hasil Radiografi Pengelasan FCAW Dengan Gap 4 mm Dengan *Backing Ceramic*

4.3.4 Hasil Radiografi Pengelasan Gap 6 mm dengan Backing Ceramic

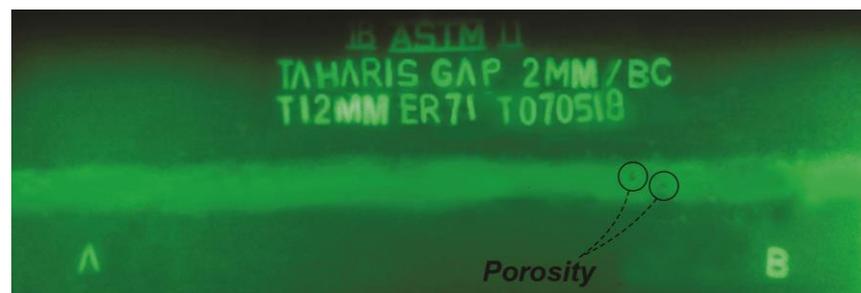
Pada hasil pengelasan gap 6 mm dengan backing ceramic didapatkan jenis cacat las *porosity*. Pada *acceptance criteria* berdasarkan ASME *Section IX Non Destructive Testing* pada *Welder Qualification*, jenis cacat porosity termasuk kategori *rounded indication*. Diameter *porosity* dari hasil pengelasan tidak boleh melebihi dari 20% atau 2,4 mm untuk ketebalan material 12 mm. Pada hasil yang diperoleh terdapat *porosity* sebesar 1 mm. Sehingga dapat disimpulkan bahwa hasil pengelasan tersebut sudah memenuhi kriteria yang diberikan. Adapun hasil dari uji radiografi dapat dilihat pada gambar 4.10 dibawah ini.



Gambar 4.10. Film Hasil Radiografi Pengelasan FCAW Gap 6 mm dengan *Backing Ceramic*

4.3.5 Hasil Radiografi Pengelasan Dua Sisi Gap 2 mm tanpa Backing Ceramic

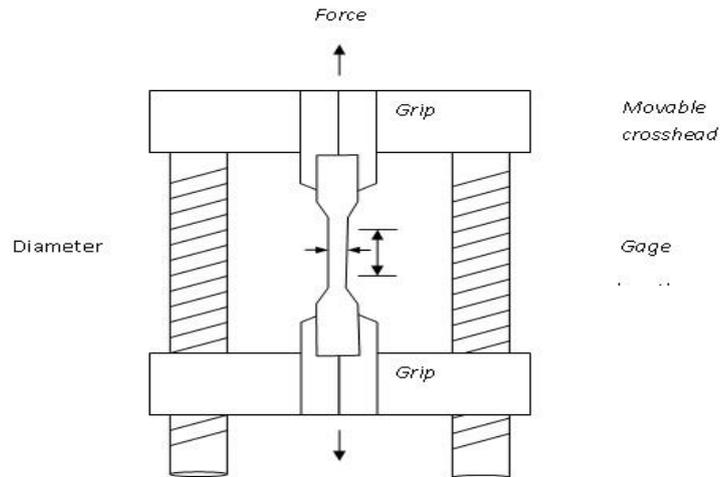
Pada hasil pengelasan dua sisi gap 2 mm tanpa backing ceramic didapatkan jenis cacat las *porosity*. Pada *acceptance criteria* berdasarkan ASME Section IX *Non Destructive Testing* pada *Welder Qualification*, jenis cacat *porosity* termasuk kategori *rounded indication*. Diameter *porosity* dari hasil pengelasan tidak boleh melebihi dari 20% atau 2,4 mm untuk ketebalan material 12 mm. Pada hasil yang diperoleh terdapat *porosity* dengan jumlah 2 dengan nilai masing-masing sebesar 0,5 mm dan 0,5 mm. Sehingga dapat disimpulkan bahwa hasil pengelasan tersebut sudah memenuhi kriteria yang diberikan. Adapun hasil dari uji radiografi dapat dilihat pada gambar 4.11 dibawah ini.



Gambar 4.11. Film Hasil Radiografi Pengelasan FCAW Dua Sisi tanpa *Backing Ceramic*

4.4. Pengujian Tarik (*Tension Test*)

Pengujian tarik ini digunakan untuk menguji kekuatan suatu bahan atau material dengan cara memberikan beban gaya yang sesumbu (Askeland,1985). Hasil yang didapatkan dari pengujian tarik ini sangat penting untuk rekayasa teknik dan desain produk karena menghasilkan data kekuatan material. Pengujian tarik digunakan untuk mengukur ketahanan suatu material terhadap gaya statis yang diberikan secara lambat.



Gambar 4.12. Gambar 2D Pengujian Tarik

Pengujian tarik adalah dasar dari pengujian mekanik yang digunakan pada material atau bahan. Dimana spesimen uji yang telah distandarisasi dilakukan pembebanan uniaxial sehingga spesimen uji mengalami peregangan dan bertambah panjang hingga akhirnya patah.

4.4.1 Hasil Pengujian Tarik *Gap 2 mm* tanpa *Backing Ceramic*

Pada pengujian tarik dengan *gap 2 mm* tanpa *backing ceramic* untuk ukuran *width* sebesar 19.28 mm, *thickness* sebesar 11.51 mm, dan luasan area sebesar 221.91 mm². Diperoleh hasil *yield force* (F_y) dan *ultimate force* (F_u) dengan rata – rata sebesar 69.9 kN dan 104.9 kN, dan diperoleh nilai rata – rata *yield strenght* dan *tensile strenght* sebesar 315 Mpa dan 473 Mpa. *Breaking point* yang terjadi pada pengelasan ini terjadi pada daerah *base metal* spesimen uji. Adapun rincian hasil kekuatan tarik pada pengelasan dapat dilihat pada tabel 4.6 dibawah ini.

Tabel 4.7. Hasil Kekuatan Tarik Pengelasan *Gap* 2 mm tanpa *Backing Ceramic*

Code	Sample Specification					Tensile Test Result		
	Width	Thick	C.S.A	F _y	F _u	Yield Strength	Tensile Strength	Breaking
	(mm)	(mm)	(mm ²)	(kN)	(kN)	(MPa)	(MPa)	
T1.1	19.28	11.51	221.91	71.1	106.1	320.4	478.1	BM
T1.2	19.28	11.51	221.91	68.73	103.8	309.7	467.8	BM
Rata - Rata				69.9	104.9	315	473	BM

4.4.2 Hasil Pengujian Tarik Pengelasan Dua Sisi dengan *Gap* 2 mm tanpa *Backing Ceramic*

Pada pengujian tarik dengan *gap* 2 mm tanpa *backing ceramic* untuk ukuran *width* sebesar 19.28 mm, *thickness* sebesar 11.51 mm, dan luasan area sebesar 221.91 mm². Diperoleh hasil *yield force* (F_y) dan *ultimate force* (F_u) dengan rata – rata sebesar 69.9 kN dan 104.9 kN, dan diperoleh nilai rata – rata *yield strenght* dan *tensile strenght* sebesar 315 Mpa dan 473 Mpa. *Breaking point* yang terjadi pada pengelasan ini terjadi pada daerah *base metal* spesimen uji. Adapun rincian hasil kekuatan tarik pada pengelasan dapat dilihat pada tabel 4.7 dibawah ini.

Tabel 4.8. Hasil Kekuatan Tarik Pengelasan Dua Sisi *Gap* 2 mm tanpa *Backing Ceramic*

Code	Sample Specification					Tensile Test Result		
	Width	Thick	C.S.A	F _y	F _u	Yield Strength	Tensile Strength	Breaking
	(mm)	(mm)	(mm ²)	(kN)	(kN)	(MPa)	(MPa)	
T2.1	19.28	11.51	221.91	70.2	106.4	321.2	486.5	BM
T2.2	19.28	11.51	221.91	68.7	103.7	307.8	472.3	BM
Rata - Rata				69.5	105.5	314.5	479.4	BM

4.4.3 Hasil Pengujian Tarik *Gap* 2 mm dengan *Backing Ceramic*

Pada pengujian tarik dengan *gap* 2 mm dengan *backing ceramic* untuk ukuran *width* sebesar 19.28 mm, *thickness* sebesar 11.51 mm, dan luasan

area sebesar 221.91 mm². Diperoleh hasil *yield force* (F_y) dan *ultimate force* (F_u) dengan rata – rata sebesar 70.5 kN dan 107.1 kN, dan diperoleh nilai rata – rata *yield strenght* dan *tensile strenght* sebesar 317.9 Mpa dan 482.6 Mpa. *Breaking point* yang terjadi pada pengelasan ini terjadi pada daerah *base metal* spesimen uji. Adapun rincian hasil kekuatan tarik pada pengelasan dapat dilihat pada tabel 4.8 dibawah ini.

Tabel 4.9. Hasil Kekuatan Tarik Pengelasan *Gap* 2 mm dengan *Backing Ceramic*

Code	Sample Specification					Tensile Test Result		
	Width	Thick	C.S.A	F _y	F _u	Yield Strength (MPa)	Tensile Strength (MPa)	Breaking
	(mm)	(mm)	(mm ²)	(kN)	(kN)			
T2.1	19.28	11.51	221.91	71.9	108.7	323.9	489.9	BM
T2.2	19.28	11.51	221.91	69.2	105.5	311.8	475.2	BM
Rata - Rata				70.5	107.1	317.9	482.6	BM

4.4.4 Hasil Pengujian Tarik *Gap* 4 mm dengan *Backing Ceramic*

Pada pengujian tarik dengan *gap* 4 mm dengan *backing ceramic* untuk ukuran *width* sebesar 19.28 mm, *thickness* sebesar 11.51 mm, dan luasan area sebesar 221.91 mm². Diperoleh hasil *yield force* (F_y) dan *ultimate force* (F_u) dengan rata – rata sebesar 71.2 kN dan 109.7 kN, dan diperoleh nilai rata – rata *yield strenght* dan *tensile strenght* sebesar 321.1 Mpa dan 494.4 Mpa. *Breaking point* yang terjadi pada pengelasan ini terjadi pada daerah *base metal* spesimen uji. Adapun rincian hasil kekuatan tarik pada pengelasan dapat dilihat pada tabel 4.9 dibawah ini.

Tabel 4.10. Hasil Kekuatan Tarik Pengelasan *Gap* 4 mm dengan *Backing Ceramic*

Code	Sample Specification					Tensile Test Result		
	Width	Thick	C.S.A	F _y	F _u	Yield Strength (MPa)	Tensile Strength (MPa)	Breaking
	(mm)	(mm)	(mm ²)	(kN)	(kN)			
T3.1	19.28	11.51	221.91	72.4	110.1	326.5	496.3	BM
T3.2	19.28	11.51	221.91	70	109.3	315.7	492.4	BM
Rata - Rata				71.2	109.7	321.1	494.4	BM

4.4.5 Hasil Pengujian Tarik Gap 6 mm dengan *Backing Ceramic*

Pada pengujian tarik dengan *gap* 6 mm dengan *backing ceramic* untuk ukuran *width* sebesar 19.28 mm, *thickness* sebesar 11.51 mm, dan luasan area sebesar 221.91 mm². Diperoleh hasil *yield force* (F_y) dan *ultimate force* (F_u) dengan rata – rata sebesar 71.5 kN dan 110.9 kN, dan diperoleh nilai rata – rata *yield strenght* dan *tensile strenght* sebesar 322.1 Mpa dan 499.8 Mpa. *Breaking point* yang terjadi pada pengelasan ini terjadi pada daerah *base metal* spesimen uji. Adapun rincian hasil kekuatan tarik pada pengelasan dapat dilihat pada tabel 4.10 dibawah ini.

Tabel 4.11. Hasil Kekuatan Tarik Pengelasan Gap 6 mm dengan *Backing Ceramic*

	<i>Sample Specification</i>					<i>Tensile Test Result</i>		
	<i>Width</i>	<i>Thick</i>	<i>C.S.A</i>	F_y	F_u	<i>Yield Strength</i>	<i>Tensile Strength</i>	<i>Breaking</i>
	(mm)	(mm)	(mm ²)	(kN)	(kN)	(MPa)	(MPa)	
T4.1	19.28	11.51	221.91	71.3	111.1	321.4	500.8	BM
T4.2	19.28	11.51	221.91	71.6	110.7	322.8	498.8	BM
Rata – Rata				71.5	110.9	322.1	499.8	BM

4.4.6 Analisa Hasil Pengujian Kekuatan Tarik

Hasil pengujian tarik dapat diterima apabila memenuhi kriteria sebagai berikut.

1. Kekuatan tarik (*yield strength* dan *ultimate strength*) spesimen harus lebih besar dari kekuatan tarik minimum yang ditetapkan dari logam dasar.
2. Spesimen putus (*breaking*) pada logam dasar diluar daerah pengelasan (*weld metal*) atau diluar garis fusi las (*fusion line*), kriteria dinyatakan diterima dengan syarat kekuatan tarik minimum 5% lebih rendah dari kekuatan tarik minimum yang ditetapkan untuk logam dasar.

Pengujian kekuatan tarik pada pengelasan dengan gap 2 mm tanpa *backing ceramic* mempunyai nilai *yield strength* 315 MPa dan nilai *ultimate strength* 473 MPa. Dapat disimpulkan bahwa pengelasan tersebut memenuhi kriteria yang sudah ditentukan. Ini dikarenakan kekuatan tarik yang dimilikinya memenuhi dari kekuatan tarik minimum dari material baja AH 36 untuk *yield strength* yaitu sebesar 315 MPa dan untuk *ultimate strength* 400 MPa. Selain itu pengelasan ini mempunyai daerah *breaking point* pada daerah *base metal*, ini berarti pengelasan ini memenuhi kriteria karena daerah *breaking point* yang diterima harus pada daerah *base metal*.

Kriteria kekuatan tarik *yield strength* dan *ultimate strength* dua-duanya harus memenuhi dari kekuatan tarik minimum material baja AH 36, apabila salah satu kriteria tidak memenuhi maka hasil kekuatan tarik dianggap tidak memenuhi kriteria. Seperti contoh pengelasan dua sisi dengan gap 2 mm tanpa *backing ceramic*, kriteria *yield strength* pada pengelasan ini tidak memenuhi kriteria sedangkan *ultimate strength* memenuhi, maka hasil kekuatan tarik tidak memenuhi kriteria, meski pengelasan ini *breaking point* juga terjadi pada daerah *base metal*.

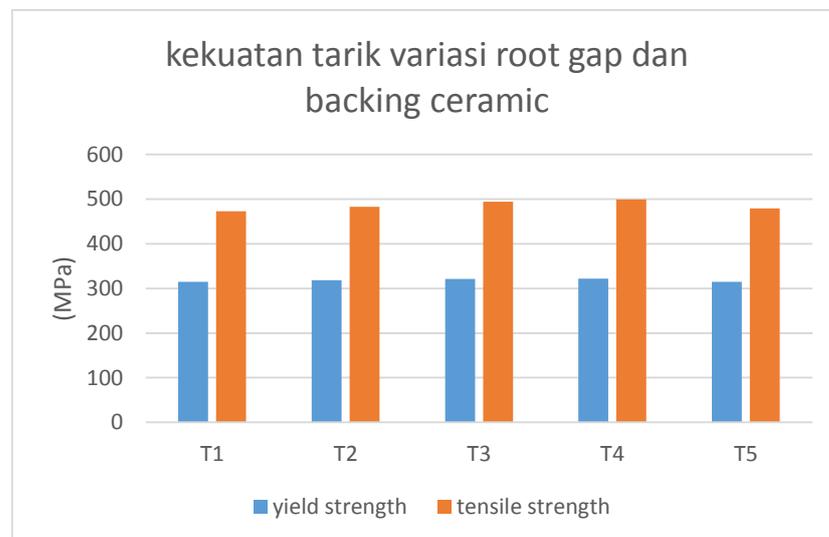
Pengujian kekuatan tarik pada pengelasan dengan gap 2 mm dengan *backing ceramic* mempunyai nilai *yield strength* 318 MPa dan nilai *ultimate strength* 482 MPa. Dapat disimpulkan bahwa pengelasan tersebut memenuhi kriteria yang sudah ditentukan. Ini dikarenakan kekuatan tarik yang dimilikinya memenuhi dari kekuatan tarik minimum dari material baja AH 36 untuk *yield strength* yaitu sebesar 315 MPa dan untuk *ultimate strength* 400 MPa. Selain itu pengelasan ini mempunyai daerah *breaking point* pada daerah *base metal*, ini berarti pengelasan ini memenuhi kriteria karena daerah *breaking point* yang diterima harus pada daerah *base metal*.

Pengujian kekuatan tarik pada pengelasan dengan gap 4 mm dengan *backing ceramic* mempunyai nilai *yield strength* 321 MPa dan nilai *ultimate strength* 494 MPa. Dapat disimpulkan bahwa pengelasan tersebut memenuhi kriteria yang sudah ditentukan. Ini dikarenakan kekuatan tarik yang dimilikinya memenuhi dari kekuatan tarik minimum dari material baja

AH 36 untuk *yield strength* yaitu sebesar 315 MPa dan untuk *ultimate strength* 400 MPa. Selain itu pengelasan ini mempunyai daerah *breaking point* pada daerah *base metal*, ini berarti pengelasan ini memenuhi kriteria karena daerah *breaking point* yang diterima harus pada daerah *base metal*.

Pengujian kekuatan tarik pada pengelasan dengan gap 6 mm dengan *backing ceramic* mempunyai nilai *yield strength* 322 MPa dan nilai *ultimate strength* 499 MPa. Dapat disimpulkan bahwa pengelasan tersebut memenuhi kriteria yang sudah ditentukan. Ini dikarenakan kekuatan tarik yang dimilikinya memenuhi dari kekuatan tarik minimum dari material baja AH 36 untuk *yield strength* yaitu sebesar 315 MPa dan untuk *ultimate strength* 400 MPa. Selain itu pengelasan ini mempunyai daerah *breaking point* pada daerah *base metal*, ini berarti pengelasan ini memenuhi kriteria karena daerah *breaking point* yang diterima harus pada daerah *base metal*.

Kekuatan tarik pada pengelasan dengan gap 2 mm tanpa *backing ceramic* dan pengelasan dua sisi tanpa *backing ceramic* pada penelitian ini didapatkan hasil lebih kecil dari pengelasan yang menggunakan *backing ceramic*. Hal ini dikarenakan pengelasan dengan menggunakan *backing ceramic* memiliki penetrasi yang bagus dibandingkan dengan pengelasan yang tidak memakai *backing ceramic* dan pengelasan dua sisi tanpa *backing ceramic*. Selain itu pada penelitian semakin besar *root gap* maka semakin besar juga nilai kekuatan tarik.



Grafik 4.1. Hasil Kekuatan Tarik Variasi *Root Gap* dan *Backing Ceramic*

4.5. Pengujian Bending

Bending test atau uji tekuk dilakukan pada spesimen uji hasil pengelasan dengan mengacu pada standar ASME section IX QW – 462.3 (a) *test specimen root bends tranverse*. Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mendapatkan informasi kualitas dari suatu hasil pengelasan. Hal ini dapat ditinjau dari hasil ketangguhan material setelah dilakukan pengelasan, terutama pada kampuh las. Ketangguhan diartikan sebagai kemampuan material untuk menyerap energi sampai material tersebut mengalami patah. Ketangguhan hasil pengelasan dapat dilihat sejauh mana plat dapat dibengkokkan sampai sudut terbesar. Material dapat dikatakan tangguh apabila sudut pembengkokkan dari spesimen uji semakin besar.

Pengujian bending ini dilakukan di Weldiing Centre Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya. Pengujian yang dilakukan adalah root bend. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui kekuatan mekanis dari root pengelasan. Dari pengujian ini dapat dilihat baik dan buruknya material hasil pengelasan. Hasil pengujian dapat dikatakan lulus atau accepted apabila sesuai dengan standar kriteria yang telah ditentukan. Standar kriteria uji bending terdapat pada ASME section IX edisi 2015, kriteria tersebut antara lain sebagai berikut :

1. Pada daerah weld metal dan HAZ, spesimen uji tidak boleh terdapat retak terbuka yang ukurannya tidak boleh melebihi dari $\frac{1}{8}$ in (3 mm) yang diukur dari segala arah pada permukaan lengkung spesimen setelah dilakukan uji bending.
2. Retak yang ditemukan di sudut spesimen uji selama pengujian dapat diabaikan kecuali yang disebabkan oleh slag inclusions, incomplete penetration, dan internal discontinuities.
3. Pada pengelasan overlay cladding tidak boleh terdapat retak terbuka minimal $\frac{1}{16}$ in (1,5 mm) dihitung dari segala arah. Pada interface tidak boleh terdapat retak terbuka yang ukurannya melebihi $\frac{1}{8}$ in (3 mm).

4.5.1. Hasil Pengujian Bending Gap 2 mm tanpa Backing Ceramic

Pengujian pada spesimen bending ini adalah menggunakan posisi *root bend*. Tes ini menghasilkan hasil yang bagus, hal ini dikarenakan hasil pengujian tidak terdapat retakan atau jenis cacat yang lain. Sehingga untuk pengujian spesimen ini hasilnya dinyatakan *accepted*. Selain itu ketangguhan dari logam hasil pengelasan dapat dikatakan bagus ditinjau dari besar sudut bending yang terbentuk. Sampel pengujian *root bend* ini dapat ditekuk hingga sudut 180°.

Tabel 4.12. Hasil Kekuatan Tekuk (*Root Bend Test*)
Gap 2 mm tanpa *Backing Ceramic*

No	Mark Sample	Type of Bend	Diameter Mandrel (mm)	Type of Discontinuity	Size of Discontinuity (mm)	Remark
1	T1	Root Bend 1	38	-	-	Accepted



Gambar 4.13. Hasil Uji *Root Bend* Pengelasan Gap 2 mm tanpa *Backing Ceramic*

4.5.2. Hasil Pengujian Bending Gap 2 mm dengan Backing Ceramic

Pengujian pada spesimen bending ini adalah menggunakan posisi *root bend*. Tes ini menghasilkan hasil yang bagus, hal ini dikarenakan hasil pengujian tidak terdapat retakan atau jenis cacat yang lain. Sehingga untuk

pengujian spesimen ini hasilnya dinyatakan *accepted*. Selain itu ketangguhan dari logam hasil pengelasan dapat dikatakan bagus ditinjau dari besar sudut bending yang terbentuk. Sampel pengujian *root bend* ini dapat ditekuk hingga sudut 180°.

Tabel 4.13. Hasil Kekuatan Tekuk (*Root Bend Test*)
Gap 2 mm dengan *Backing Ceramic*

No	Mark Sample	Type of Bend	Diameter Mandrel (mm)	Type of Discontinuity	Size of Discontinuity (mm)	Remark
1	T2	Root Bend 1	38	-	-	Accepted



Gambar 4.14. Hasil Uji *Root Bend* Pengelasan Gap 2 mm dengan *Backing Ceramic*

4.5.3. Hasil Pengujian Bending Gap 4 mm dengan *Backing Ceramic*

Pengujian pada spesimen bending ini adalah menggunakan posisi *root bend*. Tes ini menghasilkan hasil yang bagus, hal ini dikarenakan hasil pengujian tidak terdapat retakan atau jenis cacat yang lain. Sehingga untuk pengujian spesimen ini hasilnya dinyatakan *accepted*. Selain itu ketangguhan dari logam hasil pengelasan dapat dikatakan bagus ditinjau dari besar sudut bending yang terbentuk. Sampel pengujian *root bend* ini dapat ditekuk hingga sudut 180°.

Tabel 4.14. Hasil Kekuatan Tekuk (*Root Bend Test*)
Gap 4 mm dengan *Backing Ceramic*

No	Mark Sample	Type of Bend	Diameter Mandrel (mm)	Type of Discontinuity	Size of Discontinuity (mm)	Remark
1	T3	Root Bend 1	38	-	-	Accepted



Gambar 4.15. Hasil Uji *Root Bend* Pengelasan Gap 4 mm dengan *Backing Ceramic*

4.5.4. Hasil Pengujian *Bending* Gap 6 mm dengan *Backing Ceramic*

Pengujian pada spesimen bending ini adalah menggunakan posisi *root bend*. Tes ini menghasilkan hasil yang bagus, hal ini dikarenakan hasil pengujian tidak terdapat retakan atau jenis cacat yang lain. Sehingga untuk pengujian spesimen ini hasilnya dinyatakan *accepted*. Selain itu ketangguhan dari logam hasil pengelasan dapat dikatakan bagus ditinjau dari besar sudut bending yang terbentuk. Sampel pengujian *root bend* ini dapat ditekuk hingga sudut 180°.

Tabel 4.15. Hasil Kekuatan Tekuk (*Root Bend Test*)
Gap 6 mm dengan *Backing Ceramic*

No	Mark Sample	Type of Bend	Diameter Mandrel (mm)	Type of Discontinuity	Size of Discontinuity (mm)	Remark
1	T4	Root Bend 1	38	-	-	Accepted



Gambar 4.16. Hasil Uji *Root Bend* Pengelasan Gap 6 mm dengan *Backing Ceramic*

4.5.5. Hasil Pengujian *Bending* Gap 2 mm Pengelasan Dua Sisi tanpa *Backing Ceramic*

Pengujian pada spesimen bending ini adalah menggunakan posisi *root bend*. Tes ini menghasilkan hasil yang bagus, hal ini dikarenakan hasil pengujian tidak terdapat retakan atau jenis cacat yang lain. Sehingga untuk pengujian spesimen ini hasilnya dinyatakan *accepted*. Selain itu ketangguhan dari logam hasil pengelasan dapat dikatakan bagus ditinjau dari besar sudut bending yang terbentuk. Sampel pengujian *root bend* ini dapat ditekuk hingga sudut 180°.

Tabel 4.16. Hasil Kekuatan Tekuk (*Root Bend Test*)
Gap 2 mm Pengelasan Dua Sisi tanpa *Backing Ceramic*

No	Mark Sample	Type of Bend	Diameter Mandrel (mm)	Type of Discontinuity	Size of Discontinuity (mm)	Remark
1	T5	Root Bend	38	-	-	Accepted



Gambar 4.17. Hasil Uji *Root Bend* Pengelasan Gap 2 mm
Pengelasan Dua Sisi tanpa *Backing Ceramic*

4.6. Analisa Hasil Uji Bending

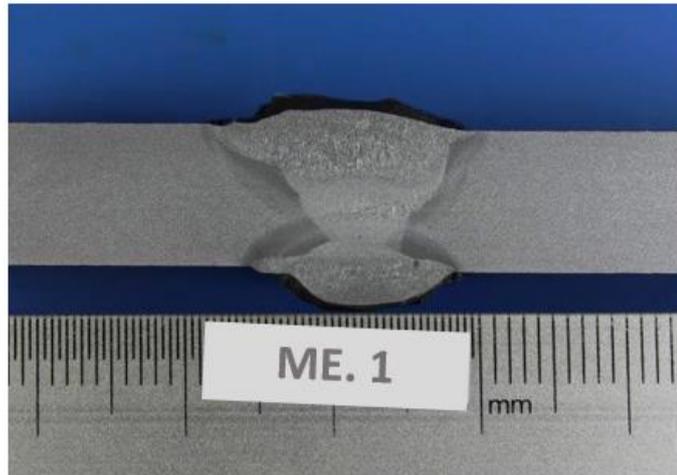
Pada semua pengujian dari spesimen uji *bending* dengan menggunakan posisi *root bend* menghasilkan hasil yang baik. Ini ditunjukkan karena tidak ada cacat yang pada semua spesimen. Berdasarkan ASME *Section IX* edisi 2015 hasil pengujian ini dinyatakan *accepted*. Selain itu ketangguhan dari logam hasil pengelasan dapat dikatakan sangat baik ditinjau dari besar sudut *bending* yang terbentuk. Semua spesimen pengujian *root bend* mampu ditekuk hingga sudut 180°. Penggunaan *backing ceramic* pada pengelasan ini juga memiliki pengaruh yang tidak terlalu signifikan. Karena pada hasil uji *bending* ini spesimen yang menggunakan *backing ceramic* memiliki hasil yang tidak terlalu berbeda dengan spesimen yang tanpa menggunakan *backing ceramic*. Sedangkan pengaruh *root gap* pada pengujian ini juga

tidak terlalu berpengaruh. Ini dikarenakan meskipun semakin besar *root gap* hasil yang didapatkan juga tidak terlalu berbeda. Hasil yang didapatkan pada pengujian dengan variasi *root gap* ini mendapatkan hasil yang hampir, tidak ada cacat yang terjadi pada pengujian spesimen tersebut. Dan juga material uji dapat ditekuk hingga 180°.

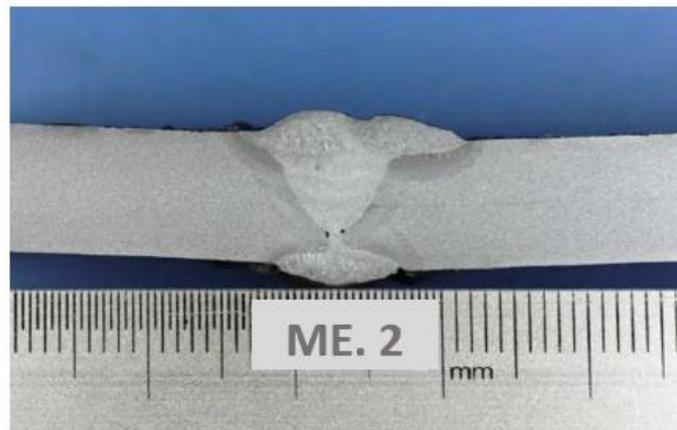
4.7. Hasil Pengujian Metalografi

4.7.1. Hasil Dan Analisa Struktur Makro Pada Spesimen Uji

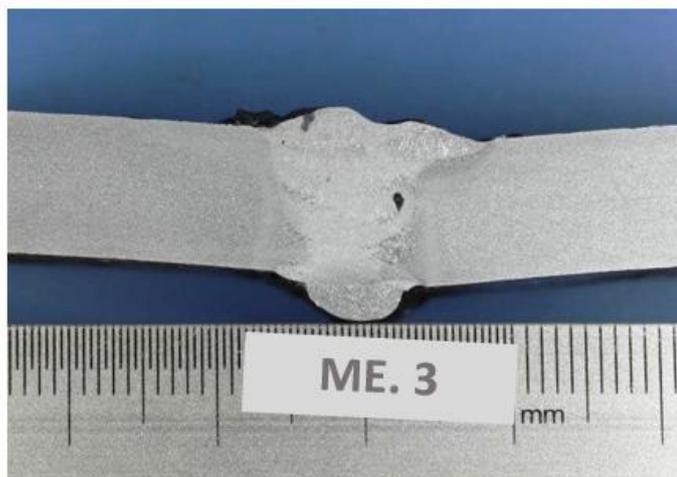
Metalografi adalah suatu teknik atau metode persiapan material untuk mengukur, baik secara kuantitatif maupun kualitatif dari informasi-informasi yang terdapat dalam material yang dapat diamati. Seperti fasa, butir, komposisi kimia, orientasi butir, jarak atom, dislokasi, topografi dan sebagainya. Struktur makro adalah struktur dari logam yang terlihat secara makro pada permukaan yang dietsa dari spesimen yang telah dipoles, proses pemolesan (*polishing*) pada proses ini dilakukan penggunaan partikel abrasif tertentu yang berperan sebagai alat pemotongan secara berulang-ulang. Pada beberapa proses, partikel-partikel tersebut disatukan sehingga berbentuk blok dimana permukaan yang ditonjolkan adalah permukaan kerja. Partikel itu dilengkapi dengan partikel abrasif yang menonjol untuk membentuk titik tajam yang sangat banyak. Proses pemolesan tersebut menggunakan kertas gosok (*abrasive paper*) dari grade 80, 120, 240, 320, 400, 500, 600, 800, 1000, 1200, 1500, 2000 dan apabila permukaan spesimen sudah halus dan mengkilap maka selanjutnya dilakukan proses pengetsaan yaitu untuk melihat struktur mikro specimen tersebut, proses ini menggunakan asam kuat yaitu HNO₃ dan alkhohol, proses etsa harus dilakukan secara hati-hati agar tidak menimbulkan deformasi plastis yang dapat merusak struktur makro dan mikro.



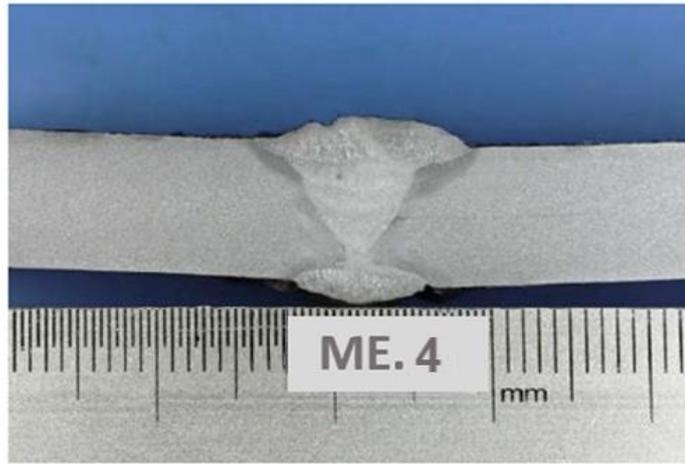
Gambar 4.18. Struktur Makro Pengelasan *Gap 2 mm* tanpa *Backing Ceramic*



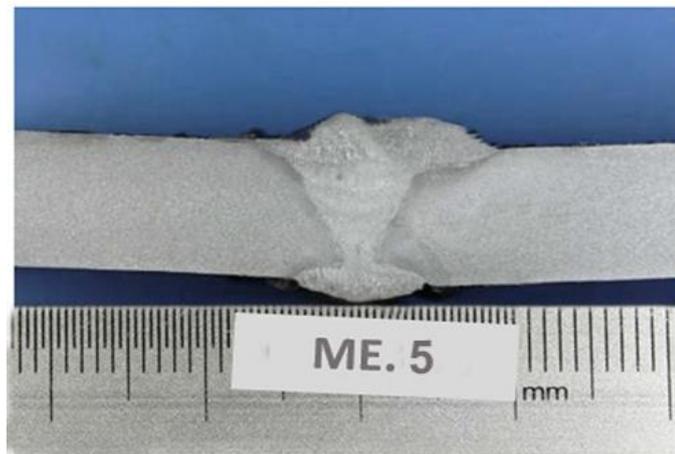
Gambar 4.19. Struktur Makro Pengelasan *Gap 2 mm* dengan *Backing Ceramic*



Gambar 4.20. Struktur Makro Pengelasan *Gap 4 mm* dengan *Backing Ceramic*



Gambar 4.21. Struktur Makro Pengelasan *Gap* 6 mm dengan *Backing Ceramic*



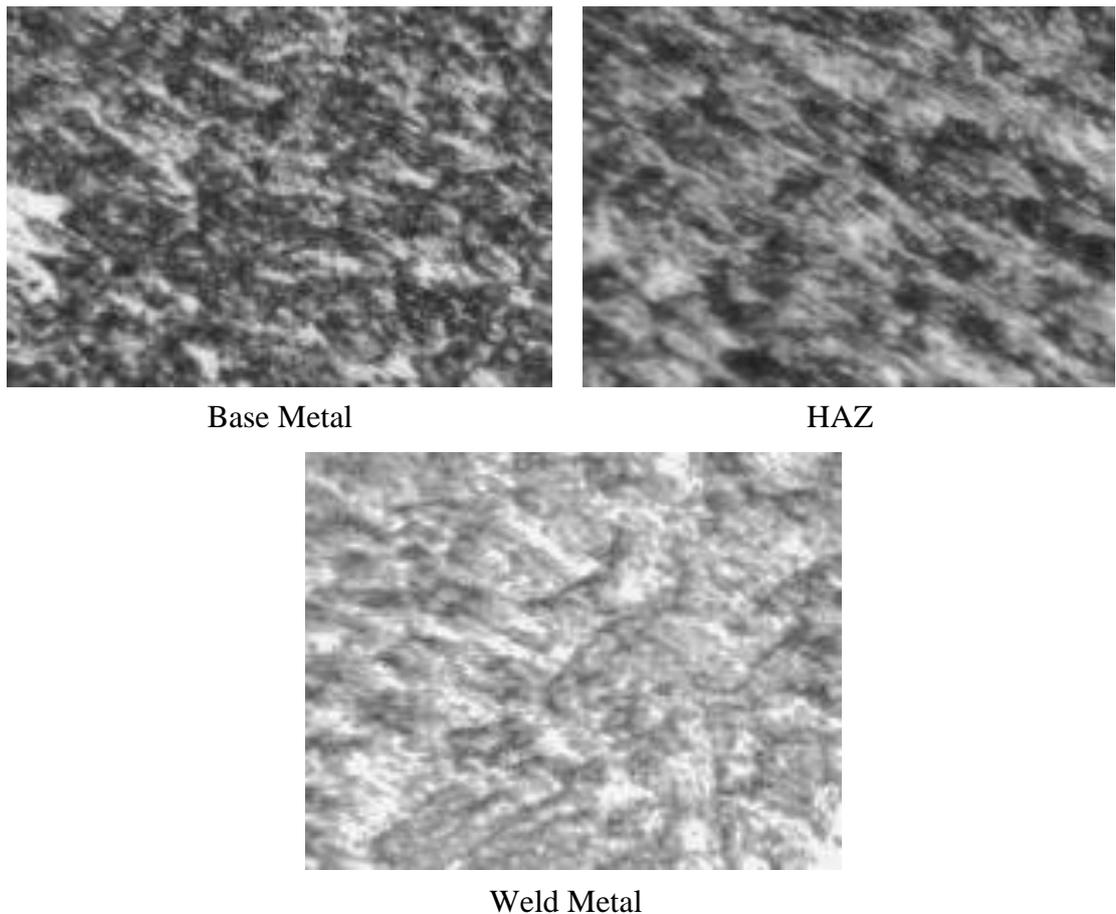
Gambar 4.22. Struktur Makro Pengelasan *Gap* 2 mm dengan Pengelasan Dua Sisi tanpa *Backing Ceramic*

Dari hasil gambar diatas yang terlampir diatas terlihat jelas foto makro hasil dari pengelasan penggunaan backing ceramic dengan variasi root gap, seperti pada daerah HAZ (*Heat Affected Zone*), Fusion Line, dan Weld Metal. Dapat dillihat bahwa semakin besar root gap maka semakin luas daerah penyambungan las sehingga kekuatan hasil las semakin kuat. Tujuan dari foto struktur makro ini adalah untuk mengukur panjang daerah HAZ pada hasil pengelasan.

4.7.2. Hasil Dan Analisa Struktur Mikro Pada Spesimen Uji

4.7.2.1. Struktur Mikro Pengelasan Gap 2 mm Tanpa Backing Ceramic

Pengujian struktur mikro pada pengelasan gap 2 mm tanpa *backing ceramic* menunjukkan hasil pembesaran 500 kali, pada gambar (a) menunjukkan struktur mikro pada daerah induk (*base metal*), pada gambar (b) menunjukkan struktur pada daerah pengaruh panas (HAZ), dan pada gambar (c) menunjukkan struktur pada daerah lasan (*weld metal*).



Gambar 4.23. Struktur Mikro Pengelasan *Gap* 2 mm tanpa *Backing Ceramic*

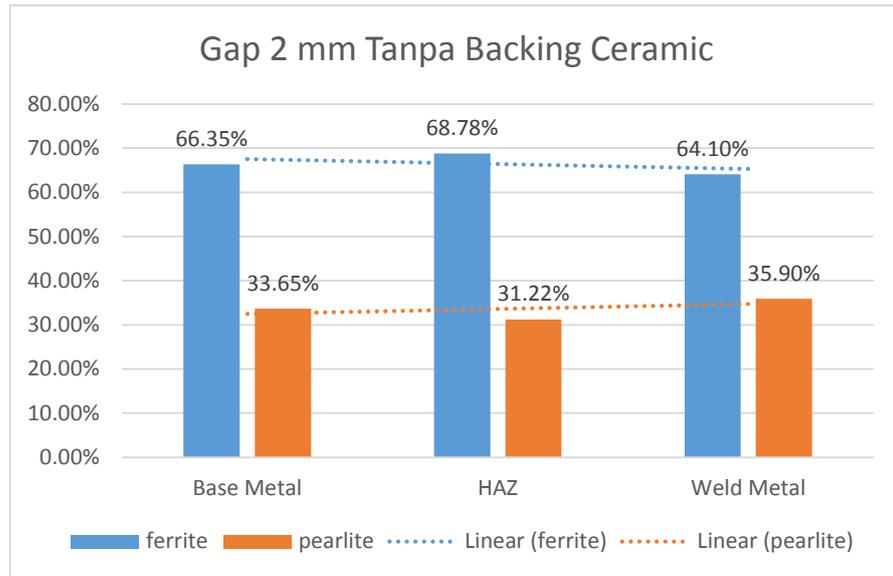
Foto diatas menunjukkan bahwa pada struktur mikro pengelasan *gap* 2 mm tanpa *backing ceramic* terdiri dari fasa ferit dan perlit dimana bentuknya gelap dan pipih untuk fasa perlit sedangkan terang dan pipih untuk fasa ferit. Lalu dihitung persentasenya dengan metode *point counting*.

Pada gambar (a), terlampir struktur mikro dengan persentase logam induk *ferrite* sebesar 66.35% dan *pearlite* sebesar 33.65%. Hal ini belum nampak jelas bahwa ukuran butir *ferrite* cenderung lebih halus dan bentuknya pipih dan berwarna lebih terang, sedangkan butiran *pearlite* cenderung lebih kasar dan keras, lalu warna nya juga cenderung lebih gelap dari pada butiran *ferrite*.

Pada gambar (b), terlampir struktur mikro dengan persentase logam pada daerah HAZ dengan *ferrite* sebesar 68.78% dan *pearlite* sebesar 31.22%. Hal ini nampak jelas bahwa ukuran butir *ferrite* cenderung lebih halus dan bentuknya pipih dan berwarna lebih terang, sedangkan butiran *pearlite* cenderung lebih kasar dan keras, lalu warna nya juga cenderung lebih gelap dari pada butiran *ferrite*.

Pada gambar (c), terlampir struktur mikro dengan persentase logam lasan (*weld metal*) dengan *ferrite* sebesar 64.10% dan *pearlite* sebesar 35.90%. Hal ini nampak jelas bahwa ukuran butir *ferrite* cenderung lebih halus dan bentuknya pipih dan berwarna lebih terang, sedangkan butiran *pearlite* cenderung lebih kasar dan keras, lalu warna nya juga cenderung lebih gelap dari pada butiran *ferrite*.

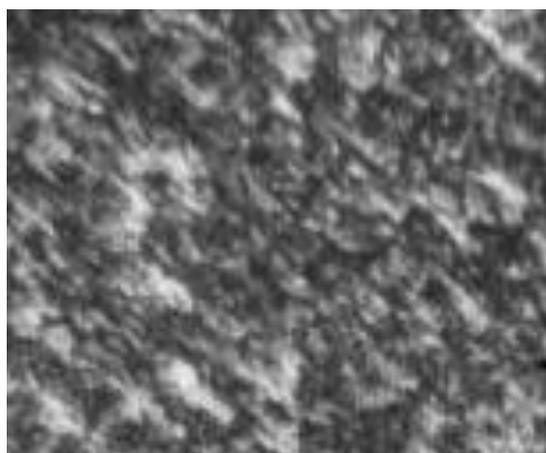
Maka dari hasil penelitian dapat disimpulkan dengan melihat perubahan per daerah sebagai berikut.



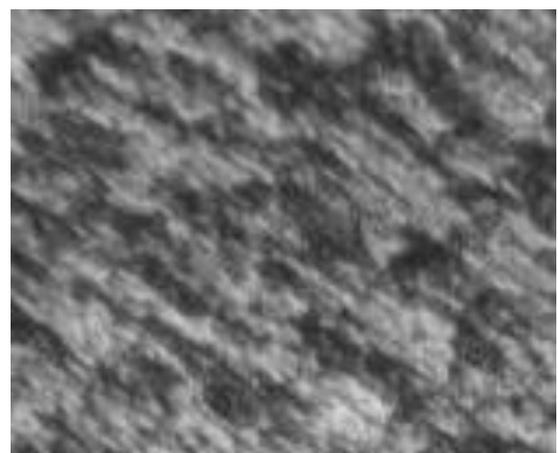
Grafik 4.2. Prosentase *Ferrite* dan *Pearlite* Pengelasan *Gap 2 mm* tanpa *Backing Ceramic*

4.7.2.2. Struktur Mikro Pengelasan *Gap 2 mm* dengan *Backing Ceramic*

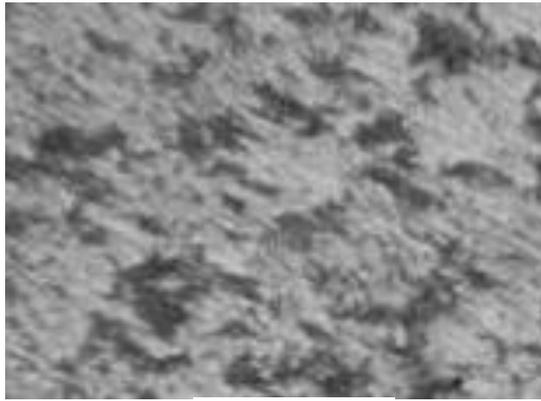
Pengujian struktur mikro pada pengelasan *gap 2 mm* dengan *backing ceramic* menunjukkan hasil pembesaran 500 kali, pada gambar (a) menunjukkan struktur mikro pada daerah induk (*base metal*), pada gambar (b) menunjukkan struktur pada daerah pengaruh panas (HAZ), dan pada gambar (c) menunjukkan struktur pada daerah lasan (*weld metal*).



Base Metal



HAZ



Weld Metal

Gambar 4.24. Struktur Mikro Pengelasan *Gap* 2 mm dengan *Backing Ceramic*

Foto diatas menunjukkan bahwa pada struktur mikro pengelasan *gap* 2 mm dengan *backing ceramic* terdiri dari fasa ferit dan perlit dimana bentuknya gelap dan pipih untuk fasa perlit sedangkan terang dan pipih untuk fasa ferit. Lalu dihitung persentasenya dengan metode *point counting*.

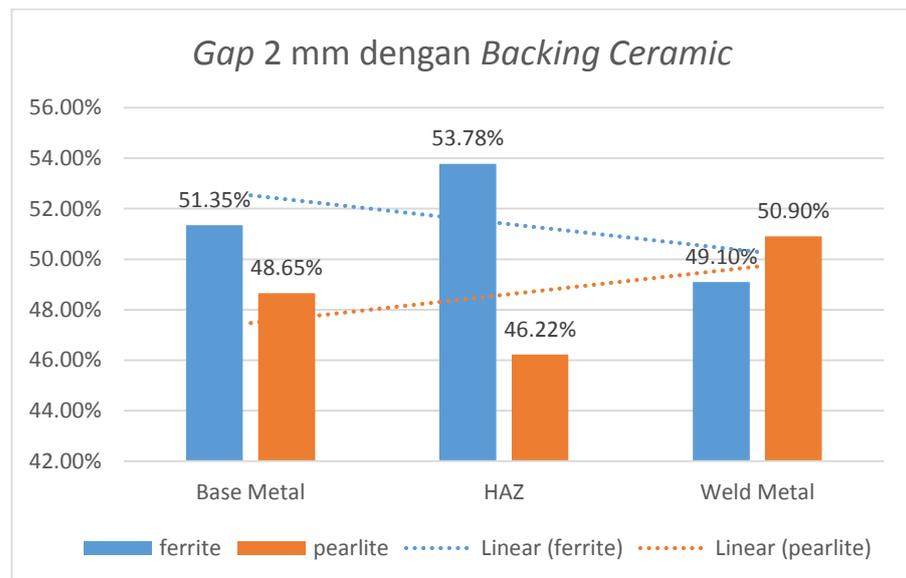
Pada gambar (a), terlampir struktur mikro dengan persentase logam induk *ferrite* sebesar 51.35% Dan *pearlite* sebesar 48.65% Hal ini belum nampak jelas bahwa ukuran butir *ferrite* cenderung lebih halus dan bentuknya pipih dan berwarna lebih terang, sedangkan butiran *pearlite* cenderung lebih kasar dan keras, lalu warna nya juga cenderung lebih gelap dari pada butiran *ferrite*.

Pada gambar (b), terlampir struktur mikro dengan persentase logam pada daerah HAZ dengan *ferrite* sebesar 53.78% dan *pearlite* sebesar 46.22%. Hal ini nampak jelas bahwa ukuran butir *ferrite* cenderung lebih halus dan bentuknya pipih dan berwarna lebih terang, sedangkan butiran *pearlite* cenderung lebih kasar dan keras, lalu warna nya juga cenderung lebih gelap dari pada butiran *ferrite*.

Pada gambar (c), terlampir struktur mikro dengan persentase logam lasan (*weld metal*) dengan *ferrite* sebesar 49.10% dan *pearlite* sebesar 50.90% Hal ini nampak jelas bahwa ukuran butir *ferrite* cenderung lebih halus dan bentuknya pipih dan berwarna lebih terang, sedangkan butiran

pearlite cenderung lebih kasar dan keras, lalu warna nya juga cenderung lebih gelap dari pada butiran *ferrite*.

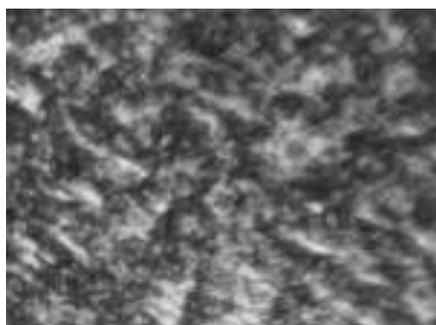
Maka dari hasil penelitian dapat disimpulkan dengan melihat perubahan per daerah sebagai berikut.



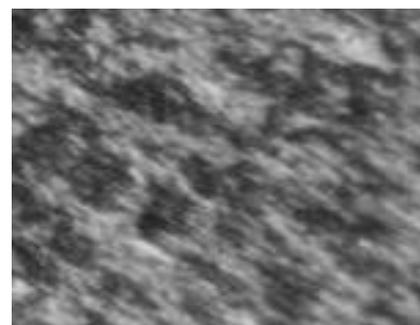
Grafik 4.3. Prosentase *Ferrite* dan *Pearlite* Pengelasan *Gap* 2 mm dengan *Backing Ceramic*

4.7.2.3. Struktur Mikro Pengelasan *Gap* 4 mm dengan *Backing Ceramic*

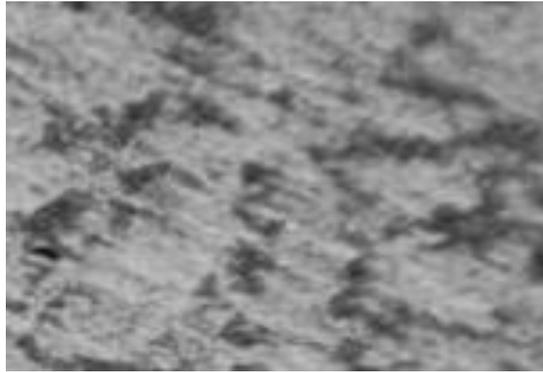
Pengujian struktur mikro pada pengelasan *gap* 4 mm dengan *backing ceramic* menunjukkan hasil pembesaran 500 kali, pada gambar (a) menunjukkan struktur mikro pada daerah induk (*base metal*), pada gambar (b) menunjukkan struktur pada daerah pengaruh panas (HAZ), dan pada gambar (c) menunjukkan struktur pada daerah lasan (*weld metal*).



Base Metal



HAZ



Weld Metal

Gambar 4.25. Struktur Mikro Pengelasan *Gap* 4 mm dengan *Backing Ceramic*

Foto diatas menunjukkan bahwa pada struktur mikro pengelasan *gap* 4 mm dengan *backing ceramic* terdiri dari fasa ferit dan perlit dimana bentuknya gelap dan pipih untuk fasa perlit sedangkan terang dan pipih untuk fasa ferit. Lalu dihitung persentasenya dengan metode point counting.

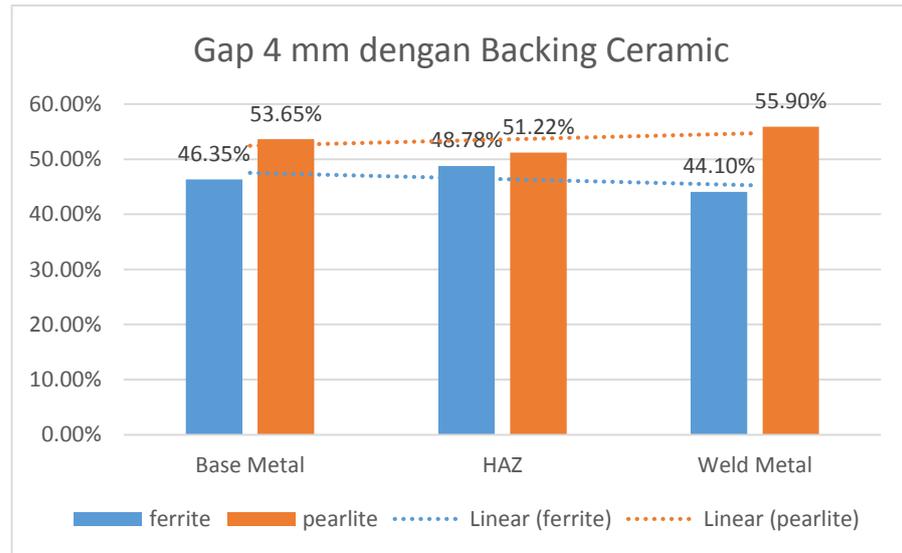
Pada gambar (a), terlampir struktur mikro dengan persentase logam induk *ferrite* sebesar 46.35% dan *pearlite* sebesar 53.65%. Hal ini belum nampak jelas bahwa ukuran butir *ferrite* cenderung lebih halus dan bentuknya pipih dan berwarna lebih terang, sedangkan butiran *pearlite* cenderung lebih kasar dan keras, lalu warna nya juga cenderung lebih gelap dari pada butiran *ferrite*.

Pada gambar (b), terlampir struktur mikro dengan persentase logam pada daerah HAZ dengan *ferrite* sebesar 48.78% dan *pearlite* sebesar 51.22%. Hal ini nampak jelas bahwa ukuran butir *ferrite* cenderung lebih halus dan bentuknya pipih dan berwarna lebih terang, sedangkan butiran *pearlite* cenderung lebih kasar dan keras, lalu warna nya juga cenderung lebih gelap dari pada butiran *ferrite*.

Pada gambar (c), terlampir struktur mikro dengan persentase logam lasan (*weld metal*) dengan *ferrite* sebesar 44.10% dan *pearlite* sebesar 55.90% Hal ini nampak jelas bahwa ukuran butir *ferrite* cenderung lebih halus dan bentuknya pipih dan berwarna lebih terang, sedangkan butiran

pearlite cenderung lebih kasar dan keras, lalu warna nya juga cenderung lebih gelap dari pada butiran *ferrite*.

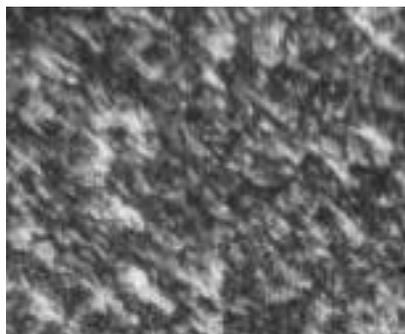
Maka dari hasil penelitian dapat disimpulkan dengan melihat perubahan per daerah sebagai berikut.



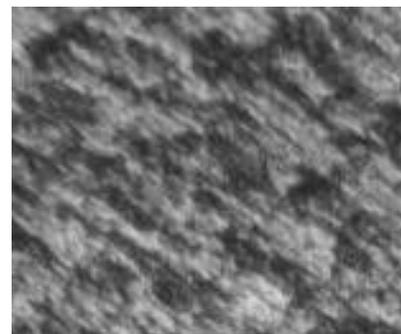
Grafik 4.4. Prosentase *Ferrite* dan *Pearlite* Pengelasan *Gap* 4 mm dengan *Backing Ceramic*

4.7.2.4. Struktur Mikro Pengelasan *Gap* 6 mm dengan *Backing Ceramic*

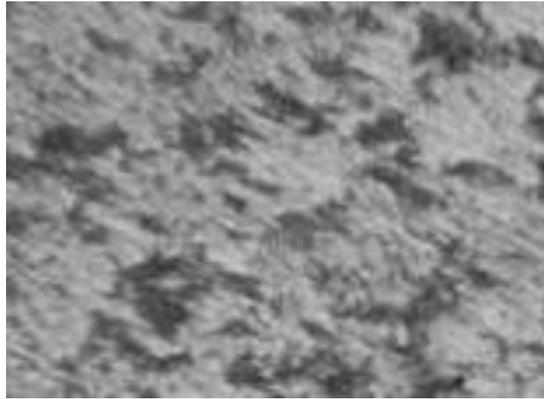
Pengujian struktur mikro pada pengelasan *gap* 6 mm dengan *backing ceramic* menunjukkan hasil pembesaran 500 kali, pada gambar (a) menunjukkan struktur mikro pada daerah induk (*base metal*), pada gambar (b) menunjukkan struktur pada daerah pengaruh panas (HAZ), dan pada gambar (c) menunjukkan struktur pada daerah lasan (*weld metal*).



Base Metal



HAZ



Weld Metal

Gambar 4.26. Struktur Mikro Pengelasan *Gap* 6 mm dengan *Backing Ceramic*

Foto diatas menunjukkan bahwa pada struktur mikro pengelasan *gap* 6 mm dengan *backing ceramic* terdiri dari fasa ferit dan perlit dimana bentuknya gelap dan pipih untuk fasa perlit sedangkan terang dan pipih untuk fasa ferit. Lalu dihitung persentasenya dengan metode *point counting*.

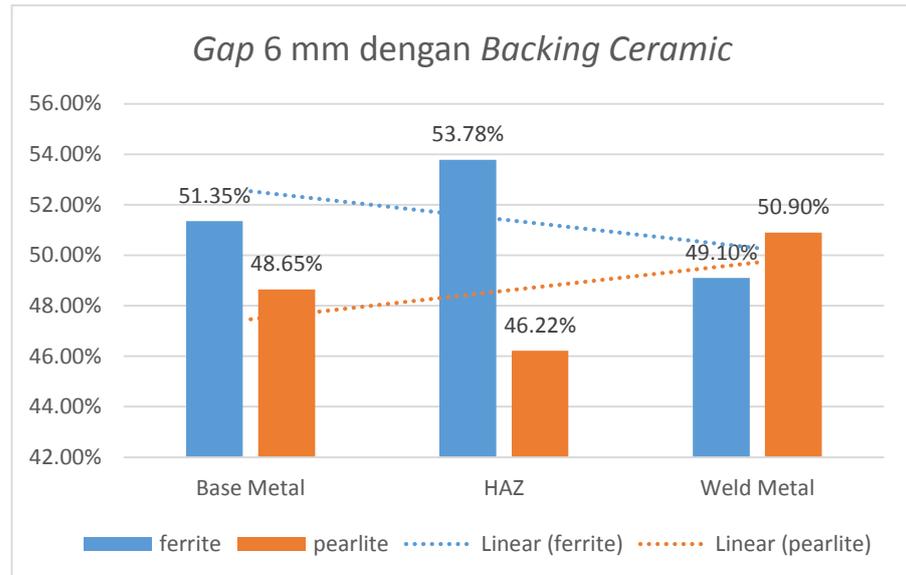
Pada gambar (a), terlampir struktur mikro dengan persentase logam induk *ferrite* sebesar 51.35% Dan *pearlite* sebesar 48.65% Hal ini belum nampak jelas bahwa ukuran butir *ferrite* cenderung lebih halus dan bentuknya pipih dan berwarna lebih terang, sedangkan butiran *pearlite* cenderung lebih kasar dan keras, lalu warna nya juga cenderung lebih gelap dari pada butiran *ferrite*.

Pada gambar (b), terlampir struktur mikro dengan persentase logam pada daerah HAZ dengan *ferrite* sebesar 53.78% dan *pearlite* sebesar 46.22%. Hal ini nampak jelas bahwa ukuran butir *ferrite* cenderung lebih halus dan bentuknya pipih dan berwarna lebih terang, sedangkan butiran *pearlite* cenderung lebih kasar dan keras, lalu warna nya juga cenderung lebih gelap dari pada butiran *ferrite*.

Pada gambar (c), terlampir struktur mikro dengan persentase logam lasan (*weld metal*) dengan *ferrite* sebesar 49.10% dan *pearlite* sebesar 50.90% Hal ini nampak jelas bahwa ukuran butir *ferrite* cenderung lebih

halus dan bentuknya pipih dan berwarna lebih terang, sedangkan butiran *pearlite* cenderung lebih kasar dan keras, lalu warna nya juga cenderung lebih gelap dari pada butiran *ferrite*.

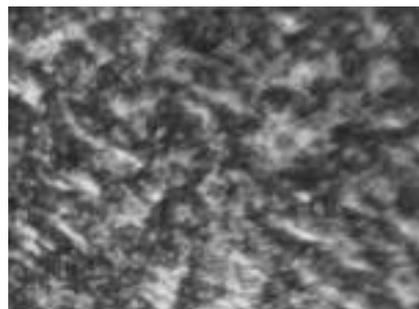
Maka dari hasil penelitian dapat disimpulkan dengan melihat perubahan per daerah sebagai berikut.



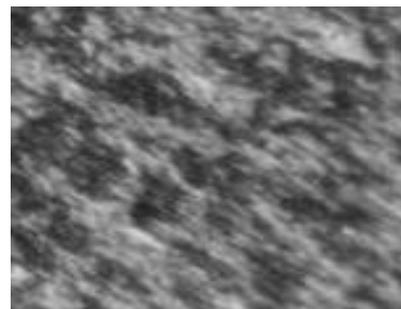
Grafik 4.5. Prosentase *Ferrite* dan *Pearlite* Pengelasan *Gap* 6 mm dengan *Backing Ceramic*

4.7.2.5. Struktur Mikro Pengelasan Dua Sisi tanpa *Backing Ceramic*

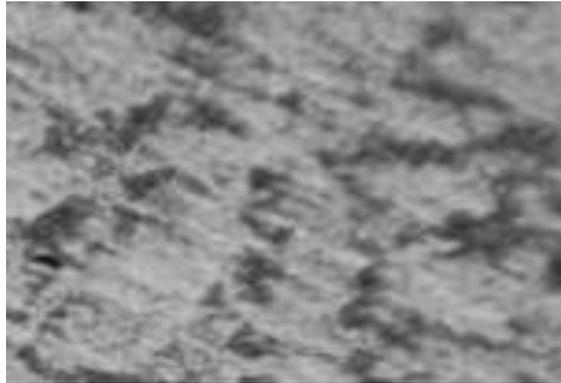
Pengujian struktur mikro pada pengelasan dua sisi tanpa *backing ceramic* menunjukkan hasil pembesaran 500 kali, pada gambar (a) menunjukkan struktur mikro pada daerah induk (*base metal*), pada gambar (b) menunjukkan struktur pada daerah pengaruh panas (HAZ), dan pada gambar (c) menunjukkan struktur pada daerah lasan (*weld metal*).



Base Metal



HAZ



Weld Metal

Gambar 4.27. Struktur Mikro Pengelasan Dua Sisi tanpa *Backing Ceramic*

Foto diatas menunjukkan bahwa pada struktur mikro pengelasan *gap* 4 mm dengan *backing ceramic* terdiri dari fasa ferit dan perlit dimana bentuknya gelap dan pipih untuk fasa perlit sedangkan terang dan pipih untuk fasa ferit. Lalu dihitung persentasenya dengan metode point counting.

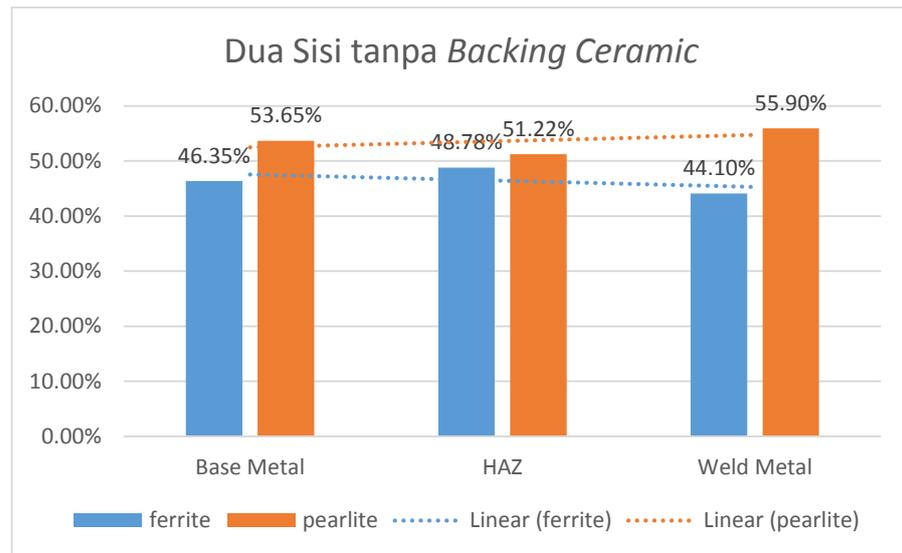
Pada gambar (a), terlampir struktur mikro dengan persentase logam induk *ferrite* sebesar 46.35% dan *pearlite* sebesar 53.65%. Hal ini belum nampak jelas bahwa ukuran butir *ferrite* cenderung lebih halus dan bentuknya pipih dan berwarna lebih terang, sedangkan butiran *pearlite* cenderung lebih kasar dan keras, lalu warna nya juga cenderung lebih gelap dari pada butiran *ferrite*.

Pada gambar (b), terlampir struktur mikro dengan persentase logam pada daerah HAZ dengan *ferrite* sebesar 48.78% dan *pearlite* sebesar 51.22%. Hal ini nampak jelas bahwa ukuran butir *ferrite* cenderung lebih halus dan bentuknya pipih dan berwarna lebih terang, sedangkan butiran *pearlite* cenderung lebih kasar dan keras, lalu warna nya juga cenderung lebih gelap dari pada butiran *ferrite*.

Pada gambar (c), terlampir struktur mikro dengan persentase logam lasan (*weld metal*) dengan *ferrite* sebesar 44.10% dan *pearlite* sebesar 55.90% Hal ini nampak jelas bahwa ukuran butir *ferrite* cenderung lebih

halus dan bentuknya pipih dan berwarna lebih terang, sedangkan butiran *pearlite* cenderung lebih kasar dan keras, lalu warna nya juga cenderung lebih gelap dari pada butiran *ferrite*.

Maka dari hasil penelitian dapat disimpulkan dengan melihat perubahan per daerah sebagai berikut.



Grafik 4.6. Prosentase *Ferrite* dan *Pearlite* Pengelasan Dua Sisi tanpa *Backing Ceramic*

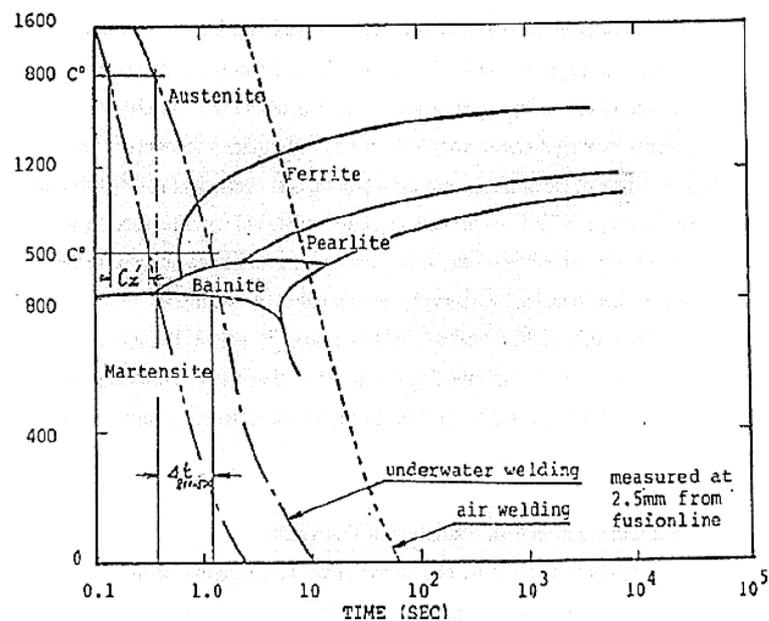
4.7.3. Analisa Hasil Pengujian Metalografi

Dari hasil pengelasan dengan variasi root gap, tanpa backing ceramic dan menggunakan backing ceramic, serta pengujian NDT (*Radiography Test*) dapat dinyatakan lolos untuk melakukan pengujian metalografi. Pada pengujian metalografi specimen yang telah dipotong dengan ukuran 60 mm x 10 mm x 10 mm dilakukan pengujian dengan melihat struktur mikro specimen, hal ini dilakukan untuk mengetahui besarnya fasa yang terjadi pada material yang telah di las dibawah air dan untuk mengetahui karakteristik material. Jadi analisa yang dapat saya simpulkan yaitu pada pengelasan ini menggunakan backing ceramic dan tanpa backing ceramic, serta dengan variasi root gap hasilnya didapatkan bahwa semakin besar gap

yang dibuat berbanding lurus dengan penurunan komposisi ferrite pada hasil lasan, dan sebaliknya komposisi pearlite mengalami kenaikan.

Semakin besar gap maka semakin menurunkan komposisi ferrite, hal yang terjadi ialah ketika proses pengelasan dengan gap yang semakin besar maka membutuhkan waktu yang semakin lambat proses pendinginan yang terjadi, hal ini karena adanya perubahan masukan panas yang terjadi akibat proses lambatnya pengelasan. Maka semakin lambatnya proses pengelasan dan pendinginan maka akan berpengaruh pada penurunan komposisi ferrite dan peningkatan komposisi pearlite.

Penurunan dan peningkatan komposisi ferrite dan pearlite yaitu berdasarkan diagram CCT (*Continuous Cooling Transformation*), komposisi struktur mikro pada pengelasan terjadi karena proses pendinginan yang semakin lambat, ketika waktu pendinginan fasa austenite nya turun, dengan itu terjadi perubahan struktur komposisi dari campuran ferrite – pearlite ke campuran ferrite – pearlite – bainite – martensite, ferrite – bainite – martensite, kemudian bainite – martensite.



Gambar 4.28. Diagram CCT (Omajene, 2014)

Diagram diatas menunjukkan tahap – tahap transformasi selama pendinginan dari setiap jenis struktur mikro yang berhubungan dengan suhu pendinginan.

BAB 5

PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang dilakukan mengenai pengaruh *root gap* pada pengelasan material baja AH 36 dengan *backing ceramic* didapatkan 3 poin kesimpulan untuk menjawab rumusan masalah pada penelitian ini. Adapun 3 poin kesimpulannya adalah sebagai berikut.

1. Pada penelitian ini didapatkan hasil bahwa penggunaan *backing ceramic* pada penelitian ini mempunyai pengaruh yang tidak terlalu signifikan. Ini dibuktikan bahwa nilai kekuatan tarik *yield strength* dan *ultimate strength* mengalami perbedaan nilai yang kecil sekali dengan prosentase 10%. Sedangkan semakin besar *root gap* maka nilai kekuatan tarik *yield strength* dan *ultimate strength* juga semakin besar. Tetapi juga mengalami kenaikan yang tidak terlalu signifikan. Kenaikan nilai tersebut rata-rata adalah 15%.
2. Hasil pengujian *bending* pada penelitian ini menunjukkan bahwa tidak terdapat cacat pada saat pengujian. Hal ini dikarenakan pengelasan dengan proses FCAW memiliki penetrasi yang bagus jika dibandingkan dengan proses pengelasan yang lain. Penggunaan *backing ceramic* juga berpengaruh pada hasil pengelasan tersebut karena dengan menggunakan *backing ceramic* penetrasi pengelasan menjadi lebih baik. Karena *backing ceramic* berfungsi sebagai penahan agar hasil lasan tidak meluber yang bisa menyebabkan tidak sempurnanya penetrasi pada pengelasan ini.
3. Pada penelitian ini didapatkan hasil bahwa semakin besar *gap* maka hasil kekuatan material juga semakin besar. Namun dalam menentukan besar *gap* juga ada kriteria yang harus dipenuhi. Pada

penelitian ini penggunaan *backing ceramic* yang paling baik adalah pada *root gap* dengan besar 6 mm. Semakin besar *root gap* dengan penggunaan *backing ceramic* didapatkan nilai kekuatan tarik yang semakin besar. Hal ini terjadi karena penetrasi hasil lasan menjadi lebih bagus dibandingkan dengan yang lain.

5.2. Saran

Berikut saran-saran yang dapat digunakan guna melanjutkan penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Pada penelitian selanjutnya perlu adanya kajian ekonomis terhadap penelitian ini.
2. Pada penelitian selanjutnya dapat digunakan beberapa variasi yaitu dengan menambahkan variasi seperti bentuk *groove*, sudut *bevel*, tekanan gas yang digunakan.
3. Pada penelitian selanjutnya dapat dilanjutkan dengan analisa uji kekerasan.

DAFTAR PUSTAKA

- ASME section II. 2004. **“Materials”**. New York : The American Society of Mechanical Engineers New York.
- ASME section IX. 2015. **“Qualification Standard For Welding, Brazing, And Fusing Procedures; Welders, Brazers, And Welding, Brazing, And Fusing Operators”**. New York : The American Society of Mechanical Engineers New York.
- ASTM section E3-01. 2002. **“Standard Guide for Preparation of Metallographic Specimens”**. Washington: ASTM Publishing.
- ASTM section E92. 2003. **“Standard Specification for Carbon Structural Steel”**. Washington: ASTM Publishing.
- ASTM section A36. 2004. **“Standard Test Method for Vickers Hardness of Metallic Materials”**. Washington: ASTM Publishing.
- AWS section D1.1. 2002. **“Structural Welding Code - Steel”**. Florida: American Welding Society.
- ASTM. 2003. **Annual Book of ASTM Standard Volume 03.01**. Philadelphia: ASTM Publishing
- Anggraeni, S. 2016. **Studi Perbandingan Proses Pengelasan SMAW Pada Lingkungan Darat Dan Bawah Air Terhadap Ketahanan Uji Bending Weld Joint Material A36**. Tugas Akhir. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Cary, B., Howard.1989. **Modern Welding Technology**. Prentice Hall International Engewood: New Jersey.
- Gery, D., Long, H., Maropoulos, P. 2005. ”Effects of welding speed, energy input and heat source distribution on temperature variations in butt joint welding”. **Journal of Materials Processing Technology. Vol. 167: 393-401**

- Giachino, J.W., W. Weeks dan G.S. Johnson. 1973. **“Welding Technology”**.
Chicago: American Technical Society.
- Harsono, T., Suparno. 2000. **Teknologi Pengelasan Logam**. Jakarta: Pradnya
Paramita
- Hastuti, Farida T. 2010. **Analisa Pengaruh Pengelasan FCAW Pada Sambungan
Material Grade A dengan Material Grade DH 36**. Tugas Akhir.
Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Indiarsa, Azhar B. 2017. **Analisis Sifat Mekanik Pada Sambungan Pelat Baja
AH 36 Dan ASTM A53 Menggunakan Pengelasan Flux Core Arc
Welding (FCAW) Dengan Variasi Heat Input Dan Jenis Elektrode**.
Tugas Akhir. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Jaya, Danang B. 2017. **Analisis Pengaruh Sudut Groove Pada Pengelasan
SMAW Terhadap Sifat Mekanis Dan Prediksi Laju Korosi ASTM
A131 AH36 Di Lingkungan Laut**. Tugas akhir. Surabaya: Institut
Teknologi Sepuluh Nopember.
- Musaikan, H. 2002. **Diktat Teknik Las**. Jurusan Teknik Mesin. Surabaya: Institut
Teknologi Sepuluh Nopember
- Muvidah, U. 2008. **Pengaruh Jenis Proses Las dan Salinitas Terhadap Sifat
Mekanik Weld Joint Material Baja pada Underwater Welding di
Lingkungan Laut**. Tugas Akhir. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh
Nopember.
- Nizar, H. 2014. **Analisa Sifat Mekanik dan Struktur Mikro Hasil Las Bawah
Air Dengan Variasi Jenis Elektroda Pada Material ASTM 36**. Tugas
Akhir. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember
- Oto, C. 2016. **Analisa Pengaruh Variasi Heat Input dan Salinitas Terhadap
Sifat Mekanik Weld Joint Material Baja A36 Pada Pengelasan SMAW
Underwater Wet Welding”**. Tugas Akhir. Surabaya: Institut Teknologi
Sepuluh Nopember
- Sosnin, H. 1975. **Arc Welding Instruction for the Beginner**. Ohio: The James F.
Lincoln Arc Welding Foundation

- Sastranegara, A.2009.**Mengenal Uji Tarik dan Sifat-Sifat Mekanik Logam.**
<http://www.infometrik.com/2009/09/mengenal-uji-tarik-dan-sifat-sifat-mekanik-logam/>
- Sukmana, Catur, I. 2011. **Analisa Pengaruh Pengelasan GMAW Terhadap Perubahan Mikrostruktur, Tegangan Sisa dan Distorsi Pada Alumunium dengan Variabel Heat Input yang Berbeda.** Tugas Akhir. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Yuda, P. 2014. **Pengaruh Penggunaan Backing Ceramic terhadap Kekuatan Hasil Uji Bending pada Baja St 41 dengan Menggunakan Proses GMAW.** Skripsi. Malang: Universitas Negeri Malang.
- Wiryo Sumarto, H. 1996. **Teknologi Pengelasan Logam.** Jakarta: Pradnya Paramita
- Zakharov, B. 2002. **“Heat Treatment of Metal”**. Moscow: Peace Publisher.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



Proses Pembuatan Bahan Uji



Proses Pemasangan *Backing Ceramic* Sebelum Proses Pengelasan



Proses Pengelasan Dengan Metode FCAW



Proses Pengelasan Dengan Metode FCAW



Mesin Pengelasan FCAW



Spesimen Pengujian Tarik (*Tensile Test*)



Mesin Pengujian Tarik (*Tensile Test*)



Mesin Pengujian *Bending*

BIODATA PENULIS



Muhamad Haris Fauzi adalah nama yang diberikan keluarga penulis. Penulis lahir di Jombang, pada tanggal 13 Mei 1996, yang merupakan anak keempat dari empat bersaudara. Penulis telah menyelesaikan pendidikan formal mulai dari TK Kedungotok, SDN Kedungotok 2, SMPN 1 Tembelang, SMAN 3 Jombang. Pada tahun 2014, penulis melanjutkan pendidikan jenjang perguruan tinggi di Institut Teknologi Sepuluh Nopember melalui jalur undangan (SNMPTN) dan diterima pada pilihan kedua di Departemen Teknik Kelautan. Selama empat tahun di Departemen Teknik Kelautan, penulis mengambil bidang Desain dan Produksi Bangunan Lepas Pantai. Selama menjadi mahasiswa, penulis juga mengikuti kegiatan mahasiswa. Pada tahun (2014-2015) penulis mengikuti Unit Kegiatan Mahasiswa menjadi anggota aktif. Pada tahun ketiga, penulis melakukan Kerja Praktek satu bulan di Perusahaan PT. Pertamina EP Asset 4 Field Poleng. Setelah itu pada satu bulan berikutnya, penulis melakukan Kerja Praktek di Perusahaan Galangan Kapal yaitu di PT. Adiluhung Saranasegara Indonesia. Selama kerja praktek di dua perusahaan tersebut, penulis mempelajari tentang fabrikasi dan inspeksi pada bangunan lepas pantai atau kapal. Apabila ada yang ingin menanyakan Tugas Akhir tentang pengelasan, dapat menghubungi penulis melalui email sebagai berikut: haris.fauzi10@gmail.com