



TUGAS AKHIR – MO.141326

**STUDI PERBANDINGAN PROSES PENGELASAN SMAW
PADA LINGKUNGAN DARAT DAN BAWAH AIR
TERHADAP KETAHANAN UJI BENDING WELD JOINT
MATERIAL A36**

Safira Dwi Anggraeni

NRP. 4312 100 124

Dosen Pembimbing :

Herman Pratikno, S.T., MT., Ph.D.

Yoyok Setyo H, S.T, MT., Ph.D.

Jurusan Teknik Kelautan

Fakultas Teknologi Kelautan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

2016



FINAL PROJECT – MO.141326

**COMPARATIVE STUDY OF ON-LAND AND UNDERWATER
SMAW WELDING METHOD TO BENDING RESISTANCE
OF A 36 WELD JOINT MATERIAL**

Safira Dwi Anggraeni

NRP. 4312 100 124

Supervisors :

Herman Pratikno, S.T., MT., Ph.D.

Yoyok Setyo H, S.T, MT., Ph.D.

Department of Ocean Engineering

Faculty of Marine Technology

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

2016

**STUDI PERBANDINGAN PROSES PENGELASAN SMAW PADA
LINGKUNGAN DARAT DAN BAWAH AIR TERHADAP KETAHANAN
UJI BENDING WELD JOINT MATERIAL A36**

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gerlar Sarjana Teknik
pada Program Studi S-1 Jurusan Teknik Kelautan Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

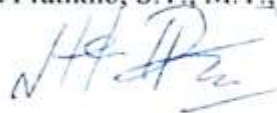
Oleh:

Safira Dwi Anggraeni

NRP. 4312 100 124

Disetujui oleh:

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

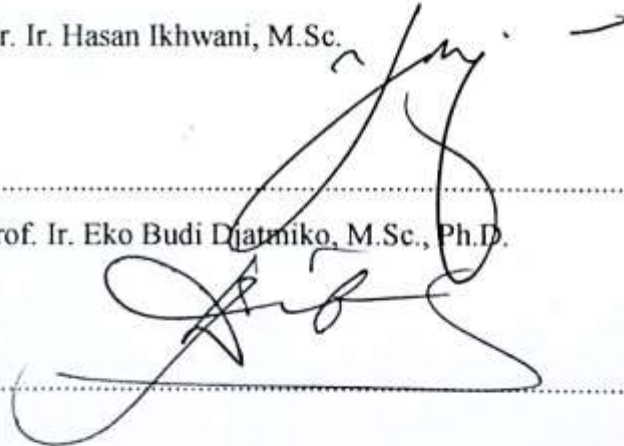


2. Yoyok Setyo H, S.T, M.T., Ph.D. (Pembimbing 2)



3. Dr. Ir. Hasan Ikhwani, M.Sc. (Penguji 1)

4. Prof. Ir. Eko Budi Djatmiko, M.Sc., Ph.D. (Penguji 2)



SURABAYA, JULI 2016

**STUDI PERBANDINGAN PROSES PENGELASAN SMAW PADA
LINGKUNGAN DARAT DAN BAWAH AIR TERHADAP KETAHANAN
UJI BENDING WELD JOINT MATERIAL A36**

Nama Mahasiswa : Safira Dwi Anggraeni
NRP : 4312100124
Jurusan : Teknik Kelautan FTK – ITS
Dosen Pembimbing : 1. Herman Pratikno, S.T., M.T., Ph.D.
2. [Yoyok Setvo Hadiwidodo](#), S.T., M.T., Ph.D.

Abstark

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui perbedaan nilai kekuatan uji bending, dan kekerasan pada sambungan *weld joint* plat baja A36 pada proses pengelasan SMAW di lingkungan darat dan bawah air. Spesimen dilakukan pengujian *bending* berupa *face bend* dan *root bend*, pengujian kekerasan dan foto mikro. 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 lasan sebesar 38 mm, hal ini tidak dapat diterima karena ukuran cacat lebih besar dari persyaratan yang ada pada ASME Section IX edisi 2015. Pada pengujian kekerasan, nilai kekerasan tertinggi pada pengelasan di darat adalah 200,5 HVN sedangkan nilai kekerasan tertinggi pada pengelasan bawah air adalah 290,2 HVN. Hasil pengujian kekerasan tertinggi pada pengelasan bawah air lebih rendah dari persyaratan AWS D3.6M. Hasil foto mikro pada pengelasan di darat pada daerah base metal, persentase struktur mikro untuk *ferit* adalah 75,44% dan *perlit* adalah 24,56%. Pada daerah HAZ, persentase struktur mikro untuk *ferit* adalah 70,11% dan *perlit* adalah 28,89%. Pada daerah weld metal, persentase struktur mikro untuk *ferit* adalah 61,11% dan *perlit* adalah 38,89%. Sedangkan untuk hasil foto mikro pada pengelasan di bawah air pada daerah base metal, persentase struktur mikro untuk *ferit* adalah 74,89% dan *perlit* adalah 25,11%. Pada daerah HAZ, persentase struktur mikro untuk *martensit* adalah 46,11%, struktur mikro *ferit* adalah 18,22% dan struktur mikro *perlit* adalah 35,67%. Pada daerah weld metal, persentase struktur mikro untuk *ferit* adalah 48,9% dan struktur mikro *perlit* adalah 51,1%.

Kata Kunci: SMAW, Pengelasan Bawah Air, Kekuatan Bending, Kekuatan Kekerasan, Metalografi.

**COMPARATIVE STUDY OF ON-LAND AND UNDERWATER SMAW
WELDING METHOD TO BENDING RESISTANCE OF A 36 WELD
JOINT MATERIAL**

Name : Safira Dwi Anggraeni
Reg. Number : 4312100124
Department : Teknik Kelautan FTK – ITS
Supervisors : 1. Herman Pratikno, S.T., M.T., Ph.D.
2. [Yoyok Setyo Hadiwidodo](#), S.T., M.T., Ph.D.

Abstract

The research is conducted to obtain distinctive values of bending test and weld joint hardness on A36 steel plate due to an on-land and an underwater welding process. Bending test consisting face-bend and root, hardness test and micro-photo are applied on the specimen. On-land-welding resulting an insignificant defect while underwater-welding resulting defects alongside the weld-area of 38 mm by face bending test and root bending test. According to ASME Section IX -2015 edition, the obtained result can not be accepted due to the exceeding defect values. The highest hardness value of the on-land-welding process is 200,5 HVN while the highest hardness value of the underwater-welding process is 290,2 HVN. The highest hardness result obtained by under-water welding process is lower than AWS D.3.6 M criteria. The micro picture of the on-land welding process at base metal illustrates 75.44% of Ferit and 24.56% of Perlite, At the HAZ 70.11% of ferit and 28.89% of perlite and at the weld metal 61.11% of ferit and 38.89% of perlite. The micro picture obtained by under-water welding process at base metal illustrates 74.89% of ferit and 25.11% of perlite, At the HAZ 46.11% of martensite, 18.22% of ferit and 35.67% of perlite and At the weld metal 48.9% of 48.9% and 51.1% of perlite.

Keyword: SMAW, *Underwater Welding, Bending, Hardness, Metalography*

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wr. Wb.

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat 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 “**STUDI PERBANDINGAN PROSES PENGELASAN SMAW PADA LINGKUNGAN DARAT DAN BAWAH AIR TERHADAP KETAHANAN UJI BENDING WELD JOINT MATERIAL A36**”.

Tugas Akhir ini disusun untuk memenuhi persyaratan dalam menyelesaikan Studi Kesarjanaan (S-1) di Jurusan Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan (FTK), Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya. Tugas Akhir ini menitikberatkan pada perbedaan nilai ketahan *bending* dan ketahanan kekerasan pada pengelasan dengan variasi kondisi lingkungan 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 2016

Safira Dwi Anggraeni

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. Kedua orang tua penulis tercinta, Umam Syaifudin dan Susannah atas segala kasih sayang dan dukungannya.
2. Dosen pembimbing pertama penulis, Bapak Herman Pratikno, S.T., MT., Ph.D. yang selalu meluangkan waktunya untuk asistensi.
3. Dosen pembimbing kedua sekaligus dosen wali penulis, Bapak Yoyok Setyo H, S.T, M.T., Ph.D. untuk kesediaannya membimbing penulis selama masa perkuliahan di Jurusan Teknik Kelautan ITS.
4. Keluarga kakak kandung, Aldy Reza Pambudi, Nafila Rahmawati, dan Khaylila Istari Khadijah, yang selalu menghibur dan memberi semangat dalam suka dan duka selama masa perkuliahan.
5. Joedo Errasjid, yang memberi segala motivasi dalam pengerjaan Tugas akhir. Terima kasih atas segala doa dan semangat yang selalu diberikan.
6. Rizkiyah Ramadani dan Pandu Damay Putra, sebagai teman seperjuangan dalam pengerjaan Tugas Akhir.
7. Teman – teman Varuna L-30 Teknik Kelautan 2012 khususnya Noni Nabila, Maria Putri, Fadhila R, Novia Noor A, Rifqi Bintari, Dyah Setyo, Nurlita A, Annisa Fitrah, dan Winda Amalia yang telah bersama – sama berjuang dalam menempuh jenjang pendidikan ini.
8. Seluruh staf pengajar dan karyawan Jurusan Teknik Kelautan ITS.
9. 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	iii
ABSTRAK	iv
KATA PENGANTAR	vi
UCAPAN TERIMA KASIH	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	xxi
DAFTAR TABEL	xiv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Perumusan Masalah.....	2
1.3. Tujuan.....	3
1.4. Manfaat.....	3
1.5. Batasan Masalah.....	3
1.6. Sistematika Penulisan.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI	7
2.1. Tinjauan Pustaka	7
2.2. Dasar Teori	8
2.2.1. Baja	8
2.2.2. Baja Karbon ASTM A36	9
2.2.3. Sel Elektroda.....	10
2.2.4. Proses Pengelasan (<i>Welding Process</i>)	13
2.2.5. <i>Shielded Metal Arc Welding (SMAW)</i>	13
2.2.6. <i>Underwater Shielded Metal Arc Welding (SMAW)</i>	14
2.2.7. Pengujian Ultrasonik.....	16
2.2.8. Pengujian Bending.....	18
2.2.9. Pengujian Kekerasan.....	21
2.2.10. Pengujian Metalografi.....	23
BAB III METODOLOGI	25
3.1. Diagram Alir Umum	25

3.2.	Prosedur Penelitian.....	26
3.2.1.	Studi Literatur.....	26
3.2.2.	<i>Surface Preparation</i>	26
3.2.3.	Proses Pengelasan SMAW di Lingkungan Darat.....	28
3.2.4.	Proses Pengelasan SMAW di Bawah Air dengan Salinitas 35‰.....	29
3.2.5.	Pengujian NDT.....	29
3.2.6.	Pembuatan Spesimen.....	30
3.2.7.	Pengujian Mekanis.....	33
3.2.8.	Pengujian Metalografi.....	35
3.2.9.	Analisa Data dan Pembahasan.....	36
3.2.10.	Kesimpulan dan Saran.....	36
BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN.....		37
4.1.	<i>Welding Prosedure Spesification (WPS)</i>	37
4.1.1.	Pengelasan SMAW di Lingkungan Darat.....	37
4.1.2.	Pengelasan SMAW di Bawah Air dengan Salinitas 35‰.....	37
4.2.	Hasil Pengelasan.....	38
4.2.1.	Pengelasan SMAW di Lingkungan Darat.....	38
4.2.2.	Pengelasan SMAW di Bawah Air dengan Salinitas 35‰.....	39
4.3.	Hasil Pengujian Ultrasonik (<i>Ultrasonik Test</i>).....	40
4.3.1.	Hasil Pengujian Ultrasonik Pengelasan SMAW di Lingkungan Darat.....	41
4.3.2.	Hasil Pengujian Ultrasonik Pengelasan SMAW di Bawah Air dengan Salinitas 35‰.....	42
4.4.	Hasil Pengujian Kekerasan.....	43
4.4.1.	Kesimpulan dari Pengujian Kekerasan.....	47
4.5.	Hasil Pengujian Bending.....	49
4.5.1.	Data Kekuatan Bending Root Hasil Pengelasan SMAW di Darat ..	50
4.5.2.	Data Kekuatan Bending Face Hasil Pengelasan SMAW di Darat...	51
4.5.3.	Data Kekuatan Bending Root Hasil Pengelasan SMAW di Bawah Air dengan Salinitas 35‰.....	52
4.5.4.	Data Kekuatan Bending Face Hasil Pengelasan SMAW di Bawah Air dengan Salinitas 35‰.....	53

4.6.	Hasil Uji Metalografi.....	54
4.6.1.	Foto Makro	54
4.6.2.	Foto Mikro	55
4.6.2.1.	Hasil Struktur Mikro Pengelasan SMAW di Darat.....	56
4.6.2.2.	Hasil Struktur Mikro Pengelasan SMAW di Bawah Air	58
BAB V	KESIMPULAN DAN SARAN	61
5.1	Kesimpulan.....	61
5.2	Saran	62
DAFTAR PUSTAKA		63
LAMPIRAN		

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1.	Sel Elektroda Terbungkus.....	11
Gambar 2.2.	Proses Pengelasan SMAW	14
Gambar 2.3.	Proses Pengelasan SMAW <i>Wet Welding</i>	15
Gambar 2.4.	Peralatan untuk Uji Ultrasonik	17
Gambar 2.5.	Face Bend pada Transversal Bending.....	19
Gambar 2.6.	Root Bend pada Transversal Bending	19
Gambar 2.7.	Side Bend pada Transversal Bending	20
Gambar 2.8.	Face Bend pada Longitudinal Bending	20
Gambar 2.9.	Root Bend pada Longitudinal Bending	21
Gambar 2.10.	Pengujian Kekerasan dengan Metode Brinell.....	22
Gambar 2.11.	Pengujian Kekerasan dengan Metode Vickers	22
Gambar 2.12.	Pantulan Sinar pada Pengamatan Metalografi.....	24
Gambar 3.1.	Digram Alir Pengerjaan Tugas Akhir.....	26
Gambar 3.2.	Persiapan Material Uji Baja ASTM A36.....	27
Gambar 3.3.	Equipment Pengujian Ultrasonik.....	30
Gambar 3.4.	Spesimen Uji <i>Root</i> dan <i>Face Bend</i>	30
Gambar 3.5.	Spesimen Uji <i>Root</i> dan <i>Face Bend</i> Pengelasan SMAW di Darat.....	31
Gambar 3.6.	Spesimen Uji <i>Root</i> dan <i>Face Bend</i> Pengelasan SMAW di Bawah Air dengan Salinitas 35‰	31
Gambar 3.7.	Penampang Indentor Uji Microhardness Vickers.....	32
Gambar 3.8.	Spesimen Uji Microhardness Vickers.	32
Gambar 3.9.	Mesin Uji Bending.....	35
Gambar 3.10.	Pengujian Microhardness Vickers	35
Gambar 3.11.	Pengambilan Foto Makro	36
Gambar 3.12.	Pengambilan Foto Mikro dengan Menggunakan Mikroskop.	36
Gambar 4.1.	Gambar Design Sampel Lasan.....	37
Gambar 4.2.	Gambar Design Sampel Lasan.....	38
Gambar 4.3.	Hasil Pengelasan Plat Baja ASTM A36 dengan Metode SMAW di Lingkungan Darat.....	38

Gambar 4.4. Hasil Pengelasan Plat Baja ASTM A36 dengan Metode SMAW di Bawah Air dengan Salinitas 35‰	39
Gambar 4.5. Grafik Pengujian Ultrasonik Pada Pengelasan SMAW di Lingkungan Darat Pada Panjang 132 mm dari Ujung Lasan....	41
Gambar 4.6. Grafik Pengujian Ultrasonik Pada Pengelasan SMAW di Lingkungan Darat Pada Panjang 244 mm dari Ujung Lasan....	41
Gambar 4.7. Grafik Pengujian Ultrasonik Pada Pengelasan SMAW di Bawah Air dengan Salinitas 35 ‰ pada Panjang 38 mm dari Ujung Lasan	42
Gambar 4.8. Grafik Pengujian Ultrasonik Pada Pengelasan SMAW di Bawah Air dengan Salinitas 35 ‰ pada Panjang 146 mm dari Ujung Lasan	43
Gambar 4.9. Pengujian Kekerasan untuk Spesimen Uji.....	44
Gambar 4.10. Grafik Nilai Kekerasan Pengelasan SMAW di Darat.....	45
Gambar 4.11. Grafik Nilai Kekerasan Pengelasan SMAW di Bawah Air dengan Salinitas 35 ‰	46
Gambar 4.12. Grafik Perbandingan Rata- Rata Nilai Kekerasan.....	47
Gambar 4.13. Hubungan antara Waktu Pendinginan dengan Kekerasan dan Presentase Struktur.....	48
Gambar 4.14. Hasil Uji <i>Root Bend</i> Pengelasan SMAW di Darat; (a) sample A1; (b) sample A2; (3) sample A3.....	51
Gambar 4.15. Hasil Uji <i>Face Bend</i> Pengelasan SMAW di Darat; (a) sample B1; (b) sample B2; (3) sample B3.	52
Gambar 4.16. Hasil Uji <i>Root Bend</i> pengelasan SMAW di Bawah Air dengan Salinitas 35 ‰ ; (a) sampe C1; (b) sample C2; (3) sample C3.	53
Gambar 4.17. Hasil Uji <i>Face Bend</i> pengelasan SMAW di Bawah Air dengan Salinitas 35 ‰ ; (a) sampe D1; (b) sample D2; (3) sample D3.	54
Gambar 4.18. Foto Makro Pengelasan SMAW di Bawah Air dengan Salinitas 35 ‰.....	55
Gambar 4.19. Foto Makro Pengelasan SMAW di lingkungan Darat.....	55
Gambar 4.20. Foto mikro Base Metal Pengelasan SMAW di Darat.....	56
Gambar 4.21. Foto mikro HAZ Pengelasan SMAW di Darat.....	56

Gambar 4.22.	Foto mikro Weld Metal Pengelasan SMAW di Darat.....	57
Gambar 4.23.	Foto mikro Base Metal Pengelasan SMAW di Bawah Air dengan Salinitas 35 %.....	57
Gambar 4.24.	Foto mikro HAZ Pengelasan SMAW di Bawah Air dengan Salinitas 35 %.....	58
Gambar 4.25.	Foto mikro Weld Metal Pengelasan SMAW di Bawah Air dengan Salinitas 35 %.....	59
Gambar 4.26.	Diagram CCT.....	59

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Sifat Mekanis Baja Karbon ASTM A36	9
Tabel 2.2. Komposisi Kimia Baja Karbon ASTM A36 t	10
Tabel 2.3. Spesifikasi Elektroda Terbungkus dari Baja Lunak	12
Tabel 2.4. Nilai Aproksimasi Kekerasan Equivalen dan Kekuatan Ultimate untuk Baja	21
Tabel 4.1. Hasil <i>record</i> proses pengelasan menggunakan metode SMAW di lingkungan darat.....	39
Tabel 4.2. Hasil <i>record</i> proses pengelasan menggunakan metode SMAW di bawah air dengan salinitas 35 %.....	40
Tabel 4.3. Hasil Uji Kekerasan Pengelasan SMAW di Darat	44
Tabel 4.4. Hasil Uji Kekerasan SMAW di Bawah Air dengan Salinitas 35% ..	46
Tabel 4.5. Hasil dari Kekuatan Tekuk (Root Bend Test) Hasil Pengelasan SMAW di Darat	50
Tabel 4.6. Hasil dari Kekuatan Tekuk (Face Bend Test) Hasil Pengelasan SMAW di Darat	51
Tabel 4.7. Hasil dari Kekuatan Tekuk (Root Bend Test) Hasil Pengelasan SMAW di Lingkungan Laut.....	52
Tabel 4.8. Hasil dari Kekuatan Tekuk (FaceBend Test) Hasil Pengelasan SMAW di Lingkungan Laut.....	53

BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Masalah

Dalam pekerjaan suatu proyek konstruksi Proses pengelasan biasanya digunakan untuk fabrikasi dalam aplikasi *engineering*, misalnya untuk pesawat terbang, otomotif, dan industri perkapalan (Gery, dkk.2005). Pengelasan merupakan penyambungan dua atau lebih material dalam keadaan plastis atau cair dengan menggunakan panas (*heat*) atau tekanan (*pressure*) atau keduanya ((Wirjosumarto, 1996). Pengelasan merupakan metoda penyambungan material yang paling populer dalam dunia industri dan konstruksi. Untuk mendapatkan hasil lasan yang baik maka cara pengelasan harus betul – betul memperhatikan kesesuaian antara sifat – sifat las dengan kegunaan konstruksi serta keadaan di sekitarnya.

Cara pengelasan yang paling banyak digunakan pada waktu ini adalah pengelasan dengan busur listrik terlindung (Wirjosumarto, 1996). Las busur listrik terlindung atau pengelasan SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*) adalah proses pengelasan yang menggunakan panas untuk mencairkan material dasar dan elektroda. Proses pengelasan SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*) dapat dilakukan di lingkungan darat dan di lingkungan bawah air (*underwater wet welding*). Pada proses pengelasan SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*) di darat tidak memerlukan perlakuan secara khusus, namun pada saat proses pengelasan SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*) di dalam laut maka kawat elektroda harus dilapisi dengan selotip atau lilin.

Untuk mengetahui kualitas hasil sambungan las dari proses pengelasan SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*) di darat dan di lingkungan laut, maka diperlukan uji mekanik antara lain uji bending, uji kekerasan, dan uji metalografi untuk mengetahui struktur mikro hasil pengelasan. Pengujian bending digunakan untuk mengukur kekuatan material akibat pembebanan. Kekuatan bending atau kekuatan lengkung adalah tegangan bending terbesar yang dapat diterima akibat pembebanan luar tanpa mengalami deformasi yang besar atau kegagalan.

Hudayana (2008) dalam penelitian tugas akhirnya telah mengkaji laju korosi pada sambungan las material baja lunak yang di las di lingkungan laut. Pekerjaan las bawah air dilakukan dengan metode SMAW wet welding pada posisi 1G (datar) dengan elektroda AWS E-6013 yang dilapisi dengan lilin yang bersifat kedap air.

Muvidah (2008) dalam tugas akhirnya juga telah menganalisa kekuatan mekanik pada *weld joint* material baja pada *underwater welding* di lingkungan laut dengan proses pengelasan SMAW *wet welding* dan FCAW *wet welding* dengan salinitas 33‰.

Ilman & Wijayanto (2008) telah membuat penelitian yakni studi korosi dan sifat mekanis sambungan las busur rendam untuk konstruksi baja melalui perlakuan panas guna mempelajari efektifitas penggunaan *post-weld heattreatment* (PWHT) dengan nyala api oksidasi dalam pengelasan las busur.

Omajene (2014) dalam jurnalnya telah membahas mengenai masalah-masalah yang timbul dalam *underwater welding* yang disebabkan oleh beberapa faktor antara lain kedalaman air, stabilitas busur las, dan suhu pendinginan.

Pamungkas (2016) dalam tugas akhirnya telah menganalisa perbandingan ketahanan uji bending pada material Aluminium seri 5083 dengan menggunakan proses pengelasan SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*) dan GMAW (*Gas Metal Arc Welding*) di lingkungan darat.

Melalui tugas akhir ini akan dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai perbandingan ketahanan uji bending *weld joint* material baja ASTM A36 pada proses pengelasan SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*) di lingkungan darat dan *underwater* pada salinitas 35‰. Dalam penelitian ini akan dipelajari sifat mekanik dan struktur mikro dari baja yang terbentuk dari sambungan hasil pengelasan tersebut. Dengan demikian diharapkan penelitian ini dapat memberikan informasi mengenai kualitas material dan sambungan las pada proses pengelasan pada kondisi dan lingkungan yang berbeda.

1.2. Perumusan Masalah

1. Bagaimanakah perbedaan nilai kekuatan uji bending dan kekerasan pada sambungan *weld joint* plat baja A36 pada proses pengelasan SMAW di lingkungan darat dan bawah air?

2. Bagaimanakah struktur mikro yang terbentuk dari hasil pengelasan SMAW di lingkungan darat dan bawah air?

1.3. Tujuan

1. Mengetahui perbedaan nilai kekuatan uji bending, dan kekerasan pada sambungan *weld joint* plat baja A36 pada proses pengelasan SMAW di lingkungan darat dan bawah air.
2. Mengetahui struktur mikro yang terbentuk dari hasil pengelasan SMAW di lingkungan darat dan bawah air.

1.4. Manfaat

Manfaat dilakukan penelitian ini adalah untuk memberikan informasi mengenai kekuatan lentur suatu material akibat pembebanan dan kekenyalan hasil sambungan las pada proses pengelasan SMAW di lingkungan darat dan bawah air dari hasil pengujian ketahanan bending. Serta memberikan informasi mengenai tingkat kualitas dan mutu suatu material dilihat dari sifat mekanik dan struktur mikro yang terbentuk dari hasil pengelasan. Dengan demikian diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai bahan acuan dan pertimbangan untuk keamanan dari suatu konstruksi atau struktur baja.

1.5. Batasan Masalah

Batasan masalah dalam tugas akhir ini adalah :

1. Material yang digunakan adalah plat baja jenis *mild steel* ASTM A36 tebal 10 mm.
2. Proses pengelasan menggunakan SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*) pada pengelasan di darat maupun di bawah air.
3. Pengelasan di bawah air pada salinitas 35‰ dengan larutan pengganti air.
4. Bentuk lasan adalah *weld joint*, dengan posisi pengelasan datar 1G (*flat position*).
5. Bentuk bevel yang digunakan adalah *single V groove*.
6. Pengelasan dilakukan tanpa adanya *pre heating* dan *post heating*.
7. Temperatur awal air sebagai media pengelasan sebesar 27°C.

8. Pengaruh variasi cuaca pada saat pengelasan diabaikan.
9. Elektroda yang digunakan AWS E6013, untuk pengelasan bawah air elektroda dilapisi dengan lilin.
10. Pengelasan dilakukan di laboratorium PPNS (Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya).
11. Pengelasan dilakukan berdasar WPS (Welding Procedure Specification).
12. Pengujian yang dilakukan:
 - a. Pengujian *radiography*.
 - b. Pengujian tekuk *face* dan *root* (*bending test*).
 - c. Pengujian *hardness Vickers*.
 - d. Pengujian *metalography* (foto makro dan foto mikro).

1.6. Sistematika Penulisan

Sistematika yang digunakan dalam tugas akhir ini, antara lain:

1. Bab I Pendahuluan

Dalam bab ini, menjelaskan tentang hal apa saja yang melatarbelakangi sehingga studi ini dilakukan, permasalahan apa yang akan dibahas, tujuan yang ingin dicapai, manfaat yang diperoleh dari studi ini, batasan-batasan masalah yang diterapkan, dan sistematika penulisan yang digunakan dalam tugas akhir ini.

2. Bab II Tinjauan Pustaka dan Dasar Teori

Selama proses pengerjaan dan penyelesaian tugas akhir ini, penulis menggunakan dasar-dasar teori, berbagai macam persamaan dan rumus, sehingga dalam bab ini akan dicantumkan hal-hal tersebut sebagai tinjauan pustaka.

3. Bab III Metodologi Penelitian

Bab ini lebih menguraikan tentang tahapan-tahapan dan metode yang digunakan untuk mengerjakan tugas akhir ini.

4. Bab IV Analisa dan Pembahasan

Pada bab ini membahas bagaimana untuk menyelesaikan permasalahan yang diangkat dalam tugas akhir ini. Selain itu, validasi, analisis,

pengolahan, dan pembahasan data hasil dari *output* percobaan juga akan dibahas pada bab ini.

5. Bab V Kesimpulan dan Saran

Berisi kesimpulan dari tugas akhir, hasil dari analisis, pembahasan yang dilakukan serta saran-saran yang perlu diberikan untuk penelitian lebih. Bab ini juga untuk menjawab permasalahan yang telah di rumuskan pada Bab I.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1. Tinjauan Pustaka

Penelitian ini akan dilaksanakan dengan memanfaatkan berbagai hasil penelitian dan pengalaman dalam bidang yang sama. Pengamatan penelitian tersebut pada khususnya adalah mengenai analisa perubahan sifat mekanik *weld joint* material baja jenis *mild steel* pada proses pengelasan SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*) di lingkungan darat maupun di lingkungan laut dengan salinitas tertentu.

Hudayana (2008) telah memulai penelitian tentang perubahan sifat mekanik *weld joint* material baja pada pengelasan di bawah air, namun pada saat itu masih terbatas pada satu jenis kondisi lingkungan yaitu SMAW *wet welding*.

Muvidah (2008) dalam tugas akhirnya telah menganalisa kekuatan mekanik pada *weld joint* material baja pada pengelasan di bawah air dengan proses pengelasan SMAW *wet welding* dan FCAW *wet welding* dengan salinitas 33‰.

Joshi (2002) menjelaskan tentang kerugian yang didapatkan dari proses pengelasan *Hyperbaric – Wet Welding*. Penelitian yang dilakukan menggunakan jenis proses las SMAW pada pengelasan di bawah air yang dapat berakibat buruk pada hasil pengelasan apabila terjadi pendinginan terlalu cepat, material pengelasan akan menjadi martensit, getas dan keras. Hal ini disebabkan karena disosiasi air pada daerah penyalaan busur.

Pamungkas (2016) dalam tugas akhirnya telah menganalisa perbandingan ketahanan uji bending pada material Aluminium seri 5083 dengan menggunakan proses pengelasan SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*) dan GMAW (*Gas Metal Arc Welding*) di lingkungan darat.

Di antara banyak makalah dan publikasi yang akan dijadikan acuan, khususnya pada tahap awal dalam penentuan parameter utama, adalah standart *codes* ASME IX edisi 2015 - Qualification Standard For Welding, Brazing, And Fusing Procedures; Welders, Brazers, And Welding, Brazing, And Fusing Operators dan makalah oleh Pamungkas (2016). Dalam hal jenis proses pengelasan SMAW *wet welding* mengacu pada Hudayana (2008). Namun untuk penentuan

kadar salinitas di lingkungan air laut akan sesuai dengan standar dari ASTM D1141. Untuk pengujian bending menggunakan standart *codes* ASME IX edisi 2015 dan untuk pengujian kekerasan menggunakan standart *codes* ASME E92 edisi 2003.

2.2. Dasar Teori

2.2.1. Baja

Baja pada dasarnya adalah paduan besi dan karbon. Selain terdiri dari besi dan karbon, baja juga mengandung unsur lain. Sebagian berasal dari pengotoran bijih besi yang biasanya kadarnya ditekan serendah mungkin. Sebagian lagi unsur yang digunakan pada proses pembuatan besi atau baja. Selain itu, sering kali juga sejumlah unsur paduan sengaja ditambahkan ke dalam untuk memperoleh sifat tertentu sehingga jenis baja akan beragam (Zakharov, 1962).

Baja adalah paduan yang paling banyak digunakan oleh manusia, jenis dan juga bentuknya sangat banyak. Karena penggunaannya yang sangat luas, maka berbagai pihak sering membuat klasifikasi menurut kebutuhan masing – masing. Ada beberapa cara mengklasifikasikan baja, diantaranya:

- Menurut penggunaannya: baja konstruksi, baja mesin, baja pegas, baja ketel, baja perkakas dan lainnya.
- Menurut kekuatannya: baja lunak, baja kekuatan tinggi.
- Menurut struktur mikronya: baja eutektoid, baja hypoutectoid, baja hypereutectoid, baja ferritik dan lainnya.
- Menurut komposisinya: baja karbon, baja paduan rendah, baja panuan tinggi dan lainnya.

Baja dapat digolongkan menjadi 3 jenis, yaitu baja karbon rendah, baja karbon menengah dan baja karbon tinggi. Baja karbon rendah (*Low Carbon Steel/Mild Steel*) merupakan baja karbon yang mempunyai kadar karbon sampai 0,30%. Baja karbon rendah sangat luas penggunaannya, yaitu sebagai konstruksi umum untuk baja profil rangka bangunan, baja tulangan beton, rangka kendaraan, mur – baut, pipa, lambung kapal, dan lain – lain. Strukturnya terdiri dari ferrit dan sedikit perlit sehingga kekuatan baja ini relatif rendah dan lunak tetapi memiliki keuletan yang tinggi. Baja ini tidak dapat dikeraskan (kecuali dengan pengerasan permukaan).

2.2.2. Baja Karbon ASTM A36

Baja karbon adalah paduan antara unsur besi dan karbon (paling dominan) dengan sedikit paduan Si, Mn, P, S dan Cu. Sifat baja karbon sangat bergantung pada kadar karbonnya, oleh karena itu baja karbon ini dikelompokkan menjadi beberapa jenis berdasarkan persentase kadar karbonnya. Bila kadar karbon semakin tinggi, maka kekuatan dan kekerasannya juga akan bertambah tinggi, akan tetapi perpanjangannya menurun. Baja karbon ASTM A36 di dalam industri maritim biasanya digunakan untuk struktur deck platform atau topside modul. Untuk pipa, baja karbon ASTM A36 sering dipakai untuk pembuatan pipa transmisi minyak dan gas bertekanan rendah. Baja karbon ASTM A36 termasuk dalam kategori baja karbon rendah (*mild steel*) dengan sifat mekanis seperti pada tabel 2.1. dan komposisi kimia seperti pada tabel 2.2.:

Tabel 2.1. Sifat Mekanis Baja Karbon ASTM A36 (ASTM A36, 2004).

Plate, Shapes, ^B and Bars:	
Tensile strength, ksi [MPa]	58-80 [400-500]
Yield point, min, ksi [MPa]	35 [250] ^C
Plate, Shapes, ^B and Bars:	
Elongation in 8 in. [200 mm], min, %	20
Elongation in 2 in. [50 mm], min, %	23
Shapes:	
Elongation in 8 in. [200 mm], min, %	20
Elongation in 2 in. [50 mm], min, %	21 ^B

Tabel 2.2. Komposisi Kimia Baja Karbon ASTM A36 (ASTM A36, 2004).

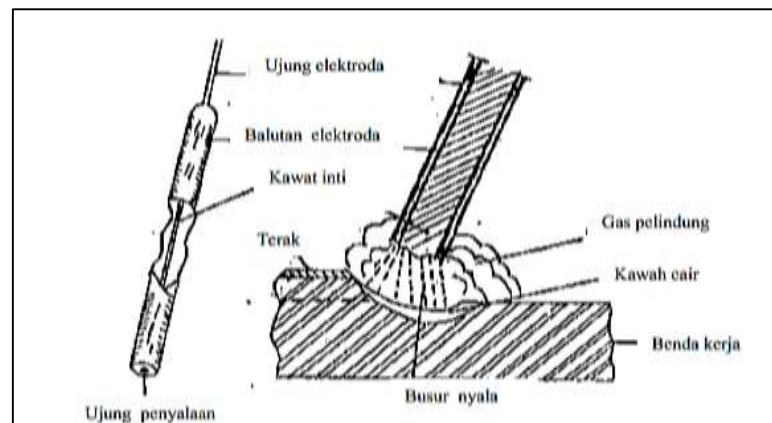
Product	Thickness in. (mm)	Chemical Requirement					
		C Max.‰	Mn ‰	P Max.‰	S Max.‰	Si ‰	Cu Max.‰
Shapes	All	0.26	...	0.04	0.05	0.40 max	0.2
Plates	To $\frac{3}{4}$ " (20)	0.25	...	0.04	0.05	0.40 max	0.2
	Over $\frac{3}{4}$ " To $1\frac{1}{2}$ " (20 to 40)	0.25	0.80 – 1.20	0.04	0.05	0.40 max	0.2
	Over $1\frac{1}{2}$ " To $2\frac{1}{2}$ " (40 to 65)	0.26	0.80 – 1.20	0.04	0.05	0.15- 0.40	0.2
	Over $2\frac{1}{2}$ " To 4 (65 to 100)	0.27	0.85 – 1.20	0.04	0.05	0.15- 0.40	0.2
	Over 4" (100)	0.29	0.85 – 1.20	0.04	0.05	0.15- 0.40	0.2

2.2.3. Sel Elektroda

Elektroda karbon maupun logam pada umumnya digunakan dalam jenis las busur. Kedua jenis elektroda tersebut mengalirkan arus listrik antara elektroda dan busur listrik. Pada alas busur elektroda logam, elektroda juga merupakan sumber logam pengisi. Elektroda dapat digolongkan menjadi dua jenis, yaitu elektroda yang dilapisi dan tidak dilapisi.

Fungsi lapisan elektroda dapat diringkas sebagai berikut:

1. Menyediakan suatu perisai yang melindungi gas sekeliling busur api dan logam cair sehingga mencegah oksigen dan nitrogen memasuki logam las.
2. Pemantap busur dan penyebab kelancaran pemindahan butir – butir cairan logam.
3. Menyediakan terak pelindung yang juga menurunkan kecepatan logam las sehingga menurunkan kerapuhan akibat pendinginan.
4. Mengisi kembali setiap kekurangan yang disebabkan oleh oksidasi elemen – elemen tertentu dari genangan las selama pengelasan dan menjamin las mempunyai sifat – sifat mekanis yang memuaskan
5. Membantu mengontrol frekuensi tetesan logam.



Gambar 2.1. Sel Elektroda Terbungkus (Wiryosumarto, 1996).

Elektroda yang ada di pasaran biasanya dibungkus dengan campuran bahan-bahan fluks yang tergantung dari penggunaannya. Walaupun jenis elektroda sangat banyak jumlahnya, tetapi secara garis besar dapat digolongkan dalam kelas-kelas berikut yang pembagiannya didasarkan atas fluks yang membungkusnya (Wiryosumarto, 1996). Jenis-jenis elektroda diklasifikasikan oleh beberapa standar dan yang digunakan dalam penelitian ini adalah standar AWS A5.1 (*Spesification for Carbon Steel Electrodes for Shielded Metal Arc Welding*). Menurut AWS klasifikasi elektroda dengan baja lunak untuk busur las listrik mempunyai kode E XXYZ, dimana :

E : Elektroda busur listrik

- XX : Kekuatan
 Y : Posisi pengelasan
 Z : Jenis arus pengelasan

Spesifikasi elektroda untuk baja karbon berdasarkan jenis dari lapisan elektroda (fluks), jenis listrik yang digunakan, posisi pengelasan dan polaritas pengelasan terdapat tabel 2.3. di bawah ini:

Tabel 2.3. Spesifikasi Elektroda Terbungkus dari Baja Lunak (Wirjosumarto, 1996).

Klasifikasi AWS - ASTM	Jenis Fluks	Posisi *) Pengelasan	Jenis Listrik	Kekuatan tarik (kg/mm ²)	Kekuatan luluh (kg/mm ²)	Perpanjangan (%)
Kekuatan tarik terendah kelompok E 60 setelah dilaksanakan adalah 60.000 psi atau 42,2 kg/mm ²						
E6010	Natrium selulosa tinggi	F, V, OH, H	DC polaritas balik	43,6	35,2	22
E6011	Kalium selulosa tinggi	F, V, OH, H	AC atau DC polaritas balik	43,6	35,2	22
E6012	Natrium titania tinggi	F, V, OH, H	AC atau DC polaritas lurus	47,1	38,7	17
E6013	Kalium titania tinggi	F, V, OH, H	AC atau DC polaritas ganda	47,1	38,7	17
E6020	Oksida besi tinggi	H-S	AC atau DC polaritas lurus	43,6	35,2	25
		F	AC atau DC polaritas ganda			
E6027	Serbuk besi, oksida besi	H-S	AC atau DC polaritas lurus	43,6	35,2	25
		F	AC atau DC polaritas ganda			
Kekuatan tarik terendah kelompok E 70 setelah dilaksanakan adalah 70.000 psi atau 49,2 kg/mm ²						
E7014.....	Serbuk besi, titania	F, V, OH, H	AC atau DC polaritas ganda			17
E7015	Natrium hidrogen rendah	F, V, OH, H	DC polaritas balik			22
E7016	Kalium hidrogen rendah	F, V, OH, H	AC atau DC polaritas balik			22
E7018	Serbuk besi, hidrogen rendah	F, V, OH, H	AC atau DC polaritas balik	50,6	42,2	22
E7024	Serbuk besi, titania	H-S, F	AC atau DC polaritas ganda			17
E7028	Serbuk besi, hidrogen rendah	H-S, F	AC atau DC polaritas balik			22

Klasifikasi AWS - ASTM	Kekuatan Tumbuk Terendah
E6010, E6011	
E6027, E7015	2,8 kg-m pada 28,9°C
E7016, E7018	
E7028	2,8 kg-m pada 17,8°C
E6012, E6013	
E6020, E7014	tidak disyaratkan
E7024	

*) Arti simbol:
 F = datar
 V = vertikal
 OH = atas kepala
 H = horizontal
 H-S = horizontal las sudut

Pengelasan dengan E6013 mudah dikendalikan serta bentuk kampuh las baik, walaupun arus las tinggi. Hasil pengelasan mempunyai rigi – rigi las yang cembung dan jarang menimbulkan percikan. Penjelasan standarisasi dari E6013 menurut AWS A5.1 (*Spesification for Carbon Steel Electrodes for Shielded Metal Arc Welding*) adalah sebagai berikut:

E : Elektroda busur listrik

- 60 : Kekuatan minimumnya sebesar 60.000 Psi
1 : Posisi pengelasan untuk *all position*
3 : Dapat dipakai pada arus bolak – balik (AC) dan arus searah (DC)

2.2.4. Proses Pengelasan (*Welding Process*)

Definisi pengelasan adalah ikatan metalurgi pada sambungan logam atau paduan yang dilaksanakan dalam keadaan lumer atau cair. Dengan kata lain, las adalah sambungan setempat dari beberapa batang logam dengan menggunakan energi panas (AWS D1.1, 2002). Dalam proses penyambungan ini adakalanya disertai dengan tekanan dan material tambahan (*filler material*). Pengelasan merupakan metoda penyambungan material yang paling populer dalam dunia industri dan konstruksi karena memiliki beberapa keuntungan antara lain:

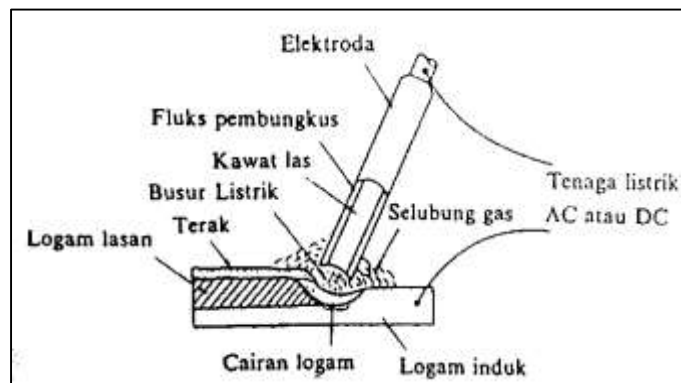
- Dapat dipakai untuk menyambung sebageian logam komersil.
- Dapat dipakai disegala tempat dan pada posisi manapun.
- Mudah mendesain sambungan dan sangat fleksibel.
- Sambungan las memberikan kekuatan yang relatif sama dengan logam aslinya.
- Bila dibandingkan dengan cara klem atau baut, pengelasan memberikan berat benda yang lebih ringan.
- Pengelasan merupakan cara yang paling murag dibandingkan dengan cara lain.

2.2.5. *Shielded Metal Arc Welding* (SMAW)

Proses pengelasan SMAW yang umumnya disebut Las Listrik adalah proses pengelasan yang menggunakan panas untuk mencairkan material dasar dan elektroda. Panas tersebut ditimbulkan oleh lompatan ion listrik yang terjadi antara katoda dan anoda (ujung elektroda dan permukaan plat yang akan dilas). Panas yang timbul dari lompatan ion listrik ini besarnya dapat mencapai 4000° sampai 4500° Celcius. Proses terjadinya pengelasan karena adanya kontak antara ujung elektroda dan material dasar sehingga terjadi hubungan pendek dan saat terjadi hubungan pendek tersebut tukang las (*welder*) harus menarik elektrode sehingga terbentuk busur listrik yaitu lompatan ion yang menimbulkan panas. Panas akan

mencairkan elektrode dan material dasar sehingga cairan elektrode dan cairan material dasar akan menyatu membentuk logam lasan (*weld metal*). Untuk menghasilkan busur yang baik dan konstan tukang las harus menjaga jarak ujung elektroda dan permukaan material dasar tetap sama. Adapun jarak yang paling baik adalah sama dengan diameter elektroda yang dipakai.

Mesin las SMAW menurut arusnya dibedakan menjadi tiga macam yaitu mesin las arus searah atau *Direct Current* (DC), mesin las arus bolak-balik atau *Alternating Current* (AC) dan mesin las arus ganda yang merupakan mesin las yang dapat digunakan untuk pengelasan dengan arus searah (DC) dan pengelasan dengan arus bolak-balik (AC), mesin Las arus DC dapat digunakan dengan dua cara yaitu polaritas lurus dan polaritas terbalik. Mesin las DC polaritas lurus (DC-) digunakan bila titik cair bahan induk tinggi dan kapasitas besar, untuk pemegang elektrodanya dihubungkan dengan kutub negatif dan logam induk dihubungkan dengan kutub positif, sedangkan untuk mesin las DC polaritas terbalik (DC+) digunakan bila titik cair bahan induk rendah dan kapasitas kecil, untuk pemegang elektrodanya dihubungkan dengan kutub positif dan logam induk dihubungkan dengan kutub negatif.



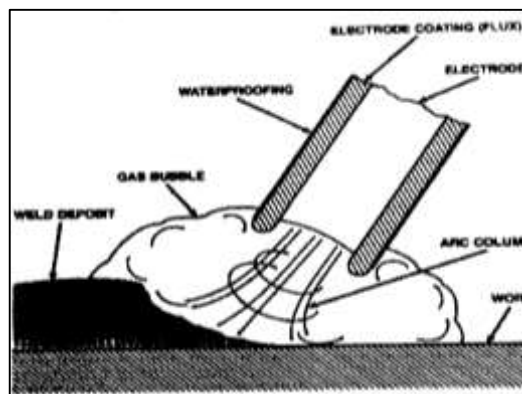
Gambar 2.2. Proses Pengelasan SMAW (Wiryosumarto, 1996)

2.2.6. *Underwater Shielded Metal Arc Welding (SMAW)*

Menurut Joshi (2002), pengelasan basah adalah pengelasan yang dilakukan di bawah air secara langsung yang bersinggungan dengan lingkungan basah, baik penyelam (*diver*) maupun busur lasnya. Pada pengelasan bawah air, elektroda khusus digunakan dalam pengelasan ini dan las digunakan secara manual sama seperti pengelasan SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*) di darat. Elektroda yang

biasa digunakan biasanya menyesuaikan dengan klasifikasi AWS A5.1 (*Spesification for Carbon Steel Electrodes for Shielded Metal Arc Welding*) elektroda harus tahan air, semua bagian harus terlindungi sehingga logam tidak terkontaminasi dengan air. Jika pelindung mengalami kebocoran, maka air akan masuk dan konduktor logam akan terkontaminasi sehingga tidak dapat digunakan untuk proses pengelasan dan akan terjadi kerusakan yang cepat pada kabel saat terjadi kebocoran.

Pengelasan dalam air dapat menyebabkan kebebasan gerak meningkat, hal ini membuat *wet welding* menjadi metode pengelasan yang ekonomis, efektif, dan efisien. Pada proses pengelasan basah, catu daya diletakkan di atas permukaan air dimana tenaganya disalurkan lewat kabel dan *hoses*. Catu daya harus diletakkan *grounded* pada kapal. Arus yang digunakan adalah arus DC dengan polaritas $-ve$. *Knife switch* pada sirkuit elektroda harus bisa memutuskan segala aliran listrik sewaktu – waktu jika dibutuhkan. Sumber energi berarus searah dengan arus antara 300 – 400 ampere. Mesin las generator merupakan mesin las yang paling sering digunakan pada pengelasan basah. *Holding electrode* khusus dengan tambahan pelindung digunakan dalam pengelasan ini. (Joshi, 2002).



Gambar 2.3. Proses Pengelasan SMAW *Wet Welding* (Joshi, 2002).

Keuntungan dari *wet welding* SMAW antara lain sebagai berikut (Joshi, 2002):

1. Serbaguna dan rendah biaya, menyebabkan metode ini sangat diminati.
2. Keuntungan lainnya adalah kecepatan, dimana pengoperasiannya mudah dipindahkan.
3. Biaya lebih sedikit (lebih mudah) dibanding *dry welding*.

4. *Welder* dapat meraih lebih banyak bagian pada *offshore platform* dibandingkan pengelasan dengan metode lain.
5. Tidak ada waktu yang terbuang. Peralatan dan mesin las standart telah tersedia. Peralatan untuk mobilisasi pekerjaan las basah minimal.

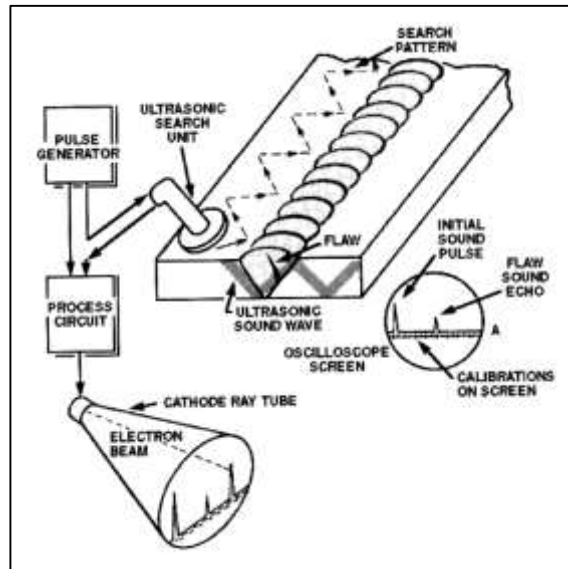
Sedangkan kerugian dari *wet welding* SMAW antara lain (Joshi, 2002);

1. Laju pendinginan cepat karena bersinggungan langsung dengan air.
2. Kegetasan; hidrogen dalam jumlah besar pada daerah lasan terjadi karena buih pengelasan, H₂ mempengaruhi *Heat Affected Zone* (HAZ) dan logam lasan sehingga menyebabkan kegetasan, keretakan, kerusakan kecil. Keretakan dapat menyebar menjadi kerusakan global pada struktur.
3. Kekurangan lain adalah keterbatasan penglihatan oleh pengelas atau penyelam sehingga sulit mengelas dengan baik.

2.2.7. Pengujian Ultrasonik

Pengujian ultrasonik merupakan pengujian dengan memanfaatkan gelombang suara untuk mendeteksi cacat yang terjadi di dalam logam las. Dalam pengujian ini suatu gelombang suara dengan frekuensi tinggi dirambatkan ke dalam logam yang diuji dengan menggunakan alat yang dapat mengirim dan menerima gelombang suara yang dinamakan proba (Wiryosumarto, 1996).

Karena terdapat permukaan yang cacat, suara yang dikirimkan akan dipantulkan dan diterima kembali oleh proba. Penerimaan oleh proba ini dapat ditunjukkan dengan menggunakan tabung siar katoda atau kertas pencatat. Prinsip kerja dari *Ultrasonic Test* adalah gelombang suara akan memantul sesuai dengan ketebalan spesimen yang diuji. Jika terdapat cacat atau anomali yang terjadi di dalam spesimen, maka gelombang suara akan dipantulkan lebih cepat daripada jarak pantul seharusnya. Gelombang suara memiliki panjang gelombang yang berbeda, tergantung rambat serta frekuensi dari gelombang tersebut. Gelombang yang umumnya digunakan untuk pengujian ini adalah gelombang transversal dan longitudinal.



Gambar 2.4. Peralatan untuk Uji Ultrasonik.

Peralatan UT terdiri dari beberapa bagian yang memiliki fungsi dan perannya masing – masing seperti Pulser/receiver, transducer, dan display. Pulser atau receiver adalah peralatan elektronik yang dapat memproduksi pulsa elektrik bertegangan tinggi. Dikendalikan oleh pulser, transducer memproduksi energi ultrasonik berfrekuensi tinggi. Energi ultrasonik tersebut dikeluarkan dan disebarkan melintasi material uji dalam bentuk gelombang. Jika terdapat discontinuity pada lintasan gelombang, sebagian energi direfleksikan kembali dari permukaan discontinuity tersebut. Gelombang sinyal yang direfleksikan tersebut dirubah menjadi sinyal elektrik oleh transducer dan ditampilkan pada display.

Keunggulan dari UT diantaranya:

1. Sensitif terhadap discontinuity yang ada pada surface maupun subsurface dari benda uji.
2. Kedalaman jangkauan pendeteksain discontinuity menggunakan UT lebih baik daripada metode NDT lainnya.
3. Hanya butuh akses dari satu sisi benda uji saja.
4. Tingkat keakuratan yang tinggi dalam menentukan posisi discontinuity, serta estimasi bentuk dan ukurannya.

5. Peralatan elektronik yang digunakan pada UT memberikan hasil pengujian secara instant.
6. Cacat planar dapat terdeteksi dengan mudah.
7. Tidak menimbulkan radiasi.

Kelemahan dari UT diantaranya:

1. Permukaan benda uji harus dapat diakses untuk mentransmisikan gelombang ultrasonik.
2. Diperlukan operator yang terlatih dan trampil.
3. Material yang permukaannya kasar, bentuknya irreguler, terlalu kecil, dan tebal kurang dari 5 mm, sedikit susah untuk dilakukan pengujian UT.
4. Besi tempa dan material yang memiliki butiran kasar sangat sulit diinspeksi karena transmisi suara akan rendah.
5. Apabila terdapat defect yang arahnya parallel dengan arah rambatan gelombang ultrasonik, biasanya sulit terdeteksi.
6. Membutuhkan media perantara untuk mentransfer energi suara pada material uji.
7. Tidak dapat dipakai untuk memeriksa material dengan tebal kurang dari 5 mm (adanya *dead zone*).

2.2.8. Pengujian Bending

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

1. Kekuatan (*Tensile Strength*)
2. Komposisi kimia dan struktur mikro terutama kandungan Mn dan C.
3. Tegangan luluh (*yield*).

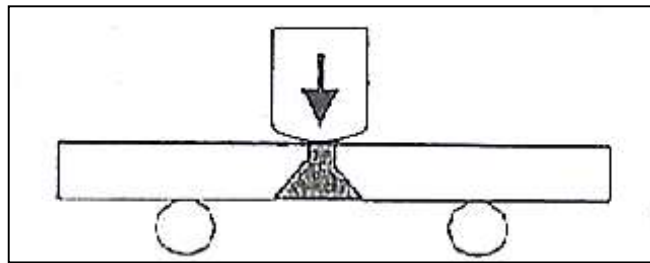
Berdasarkan posisi pengambilan spesimen, uji bending dapat dibedakan menjadi 2 yaitu *transversal bending* dan *longitudinal bending*.

a. Transversal Bending.

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

- *Face Bend* (Bending pada permukaan las)

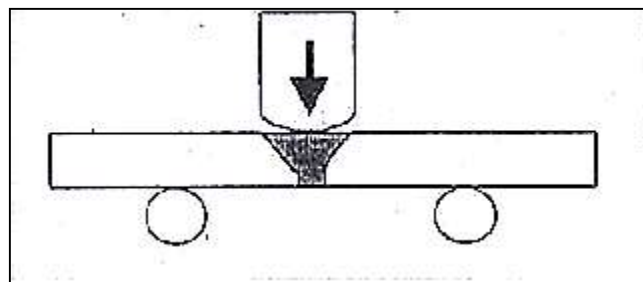
Dikatakan *Face Bend* jika bending dilakukan sehingga permukaan las mengalami tegangan dan dasar las mengalami tegangan tekan. Pengamatan dilakukan pada permukaan las yang mengalami tegangan. Apakah timbul retak atau tidak. Jika timbul retak di manakah letaknya, apakah di weld metal, HAZ atau di fusion line (garis perbatasan WM dan HAZ).



Gambar 2.5. Face Bend pada Transversal Bending (Kenyon, 1985).

- *Root Bend* (Bending pada akar las)

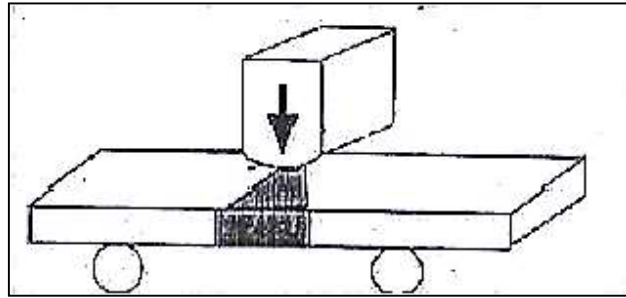
Dikatakan *Root Bend* jika bending dilakukan sehingga akar las mengalami tegangan dan dasar las mengalami tegangan. Pengamatan dilakukan pada akar las yang mengalami tegangan, apakah timbul retak atau tidak. Jika timbul retak dimanakah letaknya, apakah di weld metal, HAZ atau di *fusion line* (garis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



Gambar 2.6. Root Bend pada Transversal Bending (Kenyon, 1985).

- *Side Bend* (Bending pada sisi las).

Dikatakan *Side Bend* jika bending dilakukan sehingga sisi las. Pengujian ini dilakukan jika ketebalan material yang di las lebih besar dari 3/8 inci. 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 WM dan HAZ).



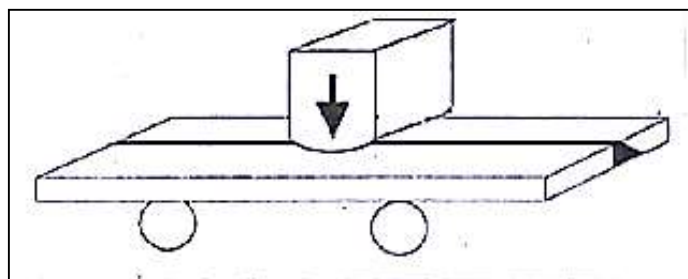
Gambar 2.7. Side Bend pada Transversal Bending (Kenyon, 1985)

- Longitudinal Bending

Pada *longitudinal bending* ini, pengambilan spesimen searah dengan arah pengelasan berdasarkan arah pembebanan dan lokasi pengamatan, pengujian longitudinal bending dibagi menjadi dua :

- *Face Bend* (Bending pada permukaan las)

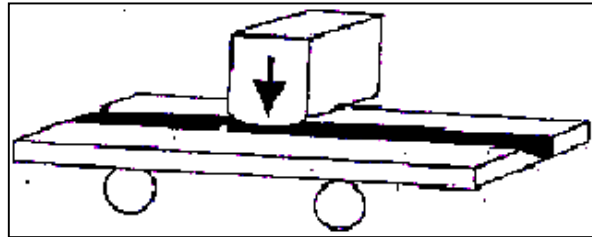
Dikatakan *Face Bend* jika bending dilakukan sehingga permukaan las mengalami tegangan dan dasar las mengalami tegangan tekan. Pengamatan dilakukan pada permukaan las yang mengalami tegangan, apakah timbul retak atau tidak. Jika timbul retak di manakah letaknya, apakah di Weld metal, HAZ atau di *fusion line* (garis perbatasan WM dan HAZ).



Gambar 2.8. Face Bend pada Longitudinal Bending (Kenyon, 1985).

- *Root Bend* (Bending pada akar las)

Dikatakan *Root Bend* jika bending dilakukan sehingga akar las mengalami tegangan dan dasar las mengalami tegangan tekan. Pengamatan dilakukan pada akar las yang mengalami tegangan, apakah timbul retak atau tidak. Jika timbul retak di manakah letaknya, apakah di Weld metal, HAZ atau di *fusion line* (garis perbatasan WM dan HAZ).



Gambar 2.9. Root Band pada Longitudinal Bending (Kenyon, 1985).

2.2.9. Pengujian Kekerasan

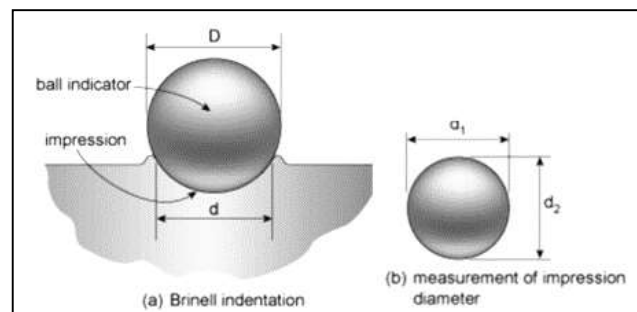
Uji keras dilakukan untuk mendapatkan sifat kekerasan material. Kekerasan biasanya dapat dinyatakan dalam tiga skala yaitu Brinell, Rockwell, atau Vickers. Perbedaan utama dari ketiga skala ini adalah pada beban dan indentor yang digunakan dalam pengukurannya. Masing-masing skala ini mempunyai kelebihan dimana Vickers hanya butuh satu *setup* pengujian untuk semua material, Rockwell akan memberikan kesalahan operator yang lebih kecil karena tidak perlu mikroskop, sedangkan Brinell dapat dengan mudah dikonversikan kedalam kekuatan ultimate-nya.

Tabel 2.4. Nilai aproksimasi kekerasan equivalen dan kekuatan ultimate untuk baja (ASTM E92, 2003)

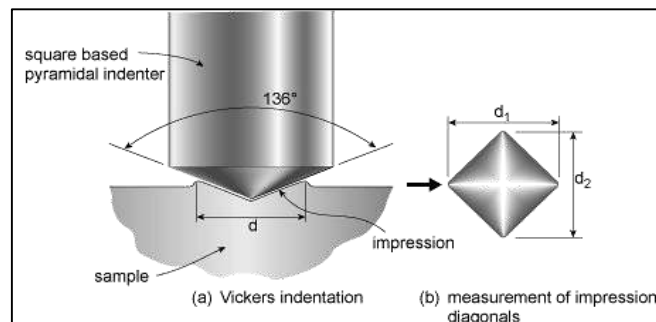
Brinell HB	Vickers HV	Rockwell		Ultimate, σ_u	
		HRB	HRC	MPa	Ksi
627	667	-	58,7	2393	347
578	615	-	56,0	2158	313
534	569	-	53,5	1986	288
495	528	-	51,0	1813	263

461	491	-	48,5	1669	242
429	455	-	45,7	1517	220
401	425	-	43,1	1393	202
375	396	-	40,4	1267	184
341	360	-	36,6	1131	164
311	328	-	33,1	1027	149
277	292	-	28,8	924	134
241	253	100	22,8	800	116
217	228	96,4	-	724	105
197	207	92,8	-	655	95
179	188	89,0	-	600	87
159	167	83,9	-	538	78
143	150	78,6	-	490	71
131	137	74,2	-	448	65
116	122	67,6	-	400	58

Note: Load 3000 kg for HB.



Gambar 2.10. Pengujian Kekerasan dengan Metode Brinell (Widharto, 2007).



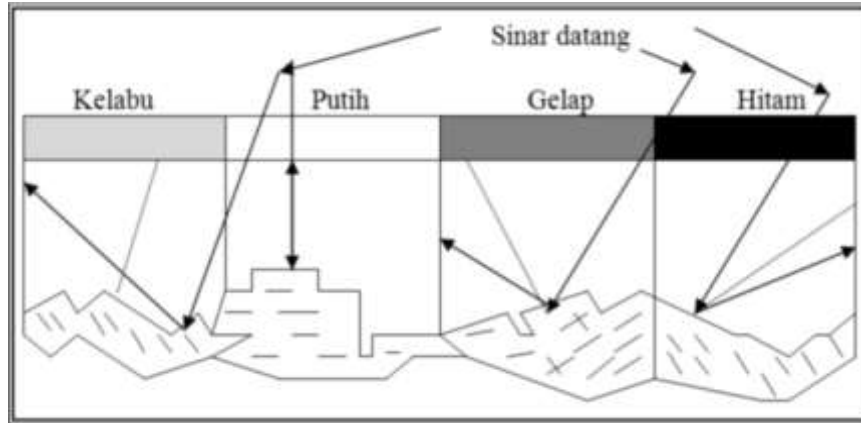
Gambar 2.11. Pengujian Kekerasan dengan Metode Vickers (Widharto, 2007).

2.2.10. Pengujian Metalografi

Pengujian metalografi dilakukan untuk melihat permukaan hasil lasan secara mikro dan makro. Pengamatan metalografi dilakukan dengan menggunakan mikroskop optis dan mikroskop elektron. Struktur yang terlihat pada mikroskop disebut mikrostruktur. Pengamatan tersebut dilakukan terhadap spesimen yang telah diproses sehingga bisa diamati dengan pembesaran tertentu.

Pengujian makro (*makroscope test*) ialah proses pengujian bahan yang menggunakan mata terbuka dengan tujuan dapat memeriksa celah dan lubang dalam permukaan bahan. Angka kevalidan pengujian makro berkisar antara 0,5 sampai 50 kali. Pengujian cara demikian biasanya digunakan untuk bahan-bahan yang memiliki struktur kristal yang tergolong besar atau kasar. Misalnya, logam hasil coran (tuangan) dan bahan yang termasuk non-metal (bukan logam). Pengujian mikro adalah suatu pengujian mengenai struktur bahan melalui pembesaran dengan menggunakan mikroskop khusus metalografi. Dengan pengujian mikro struktur, kita dapat mengamati bentuk dan ukuran kristal logam, kerusakan logam akibat proses deformasi, proses perlakuan panas, dan perbedaan komposisi. Sebelum dilakukan pengamatan metalografi, spesimen uji terlebih dahulu dilakukan preparasi dengan beberapa tahapan. Tahapan yang harus dilalui adalah mounting, grinding, polishing, dan etching. Dari keempat proses tersebut, proses grinding dan polishing merupakan proses yang penting untuk membuat permukaan sampel menjadi benar-benar halus agar dapat dilakukan pengujian. Pada proses ini biasa digunakan sebuah mesin poles yang memiliki komponen utama berupa motor penggerak, piringan logam, dan keran air. Pada pengujian kali ini digunakan sebuah motor penggerak berupa motor listrik yang akan berfungsi sebagai penggerak dua piringan logam.

Sifat-sifat logam terutama sifat mekanis dan sifat teknologis sangat dipengaruhi oleh mikro struktur logam dan paduannya, disamping komposisi kimianya. Struktur mikro dari logam dapat diubah dengan jalan perlakuan panas ataupun dengan proses perubahan bentuk (deformasi) dari logam yang akan diuji.



Gambar 2.12. Pantulan Sinar pada Pengamatan Metalografi (Widharto, 2007).

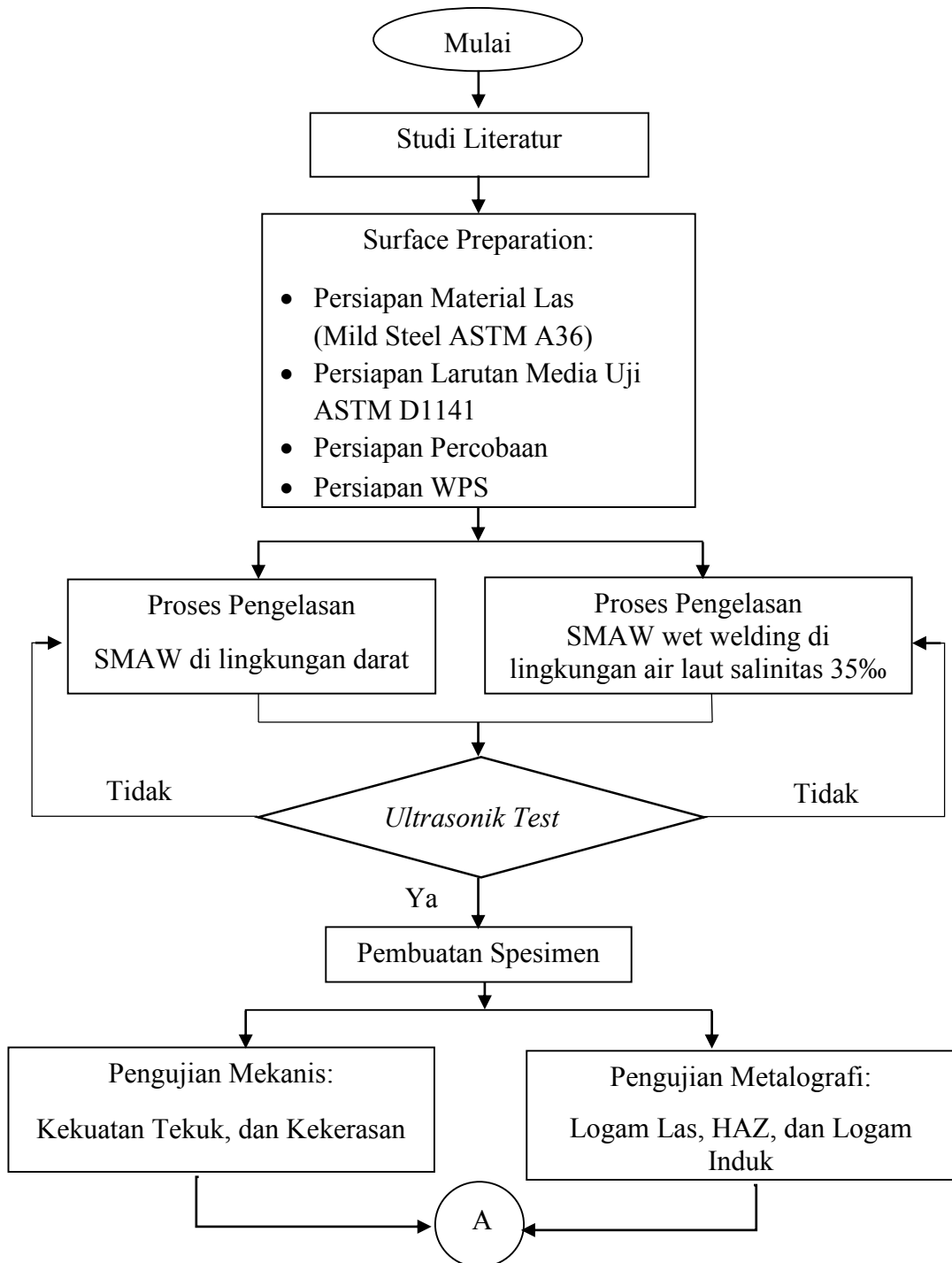
Pengamatan metalografi pada dasarnya adalah melihat perbedaan intensitas sinar pantul permukaan logam yang dimasukkan ke dalam mikroskop sehingga terjadi gambar yang berbeda (gelap, agak terang, terang). Dengan demikian apabila seberkas sinar di kenakan pada permukaan spesimen maka sinar tersebut akan dipantulkan sesuai dengan orientasi sudut permukaan bidang yang terkena sinar. Semakin tidak rata permukaan, maka semakin sedikit intensitas sinar yang terpantul ke dalam mikroskop. Akibatnya, warna yang tampak pada mikroskop adalah warna hitam. Sedangkan permukaan yang sedikit terkorosi akan tampak berwarna terang.

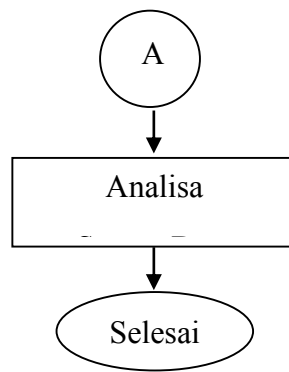
BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Metode Penelitian

Metodologi yang digunakan dalam tugas akhir ini dalam bentuk diagram alir (*flowchart*) adalah sebagai berikut:





Gambar 3.1. Digram Alir Pengerjaan Tugas Akhir

3.2. Prosedur Penelitian

Langkah-langkah penelitian pengerjaan tugas akhir ini tertera dalam diagram alir gambar 4.1 dan dapat dijelaskan sebagai berikut:

3.2.1 Studi Literatur

Langkah pertama yang dilakukan dalam penyusunan tugas akhir ini adalah dengan mengumpulkan literatur dari berbagai sumber untuk dijadikan acuan dan referensi tugas akhir ini. Literatur tersebut diperoleh dari :

- penelitian sebelumnya
- buku yang relevan
- jurnal
- internet

3.2.2 *Surface Preparation*

- Persiapan Material Las

Material yang akan diuji adalah plat baja jenis *mild steel* ASTM A36. Spesimen uji dibuat berbentuk persegi empat dengan ukuran dan tipe sebagai berikut:

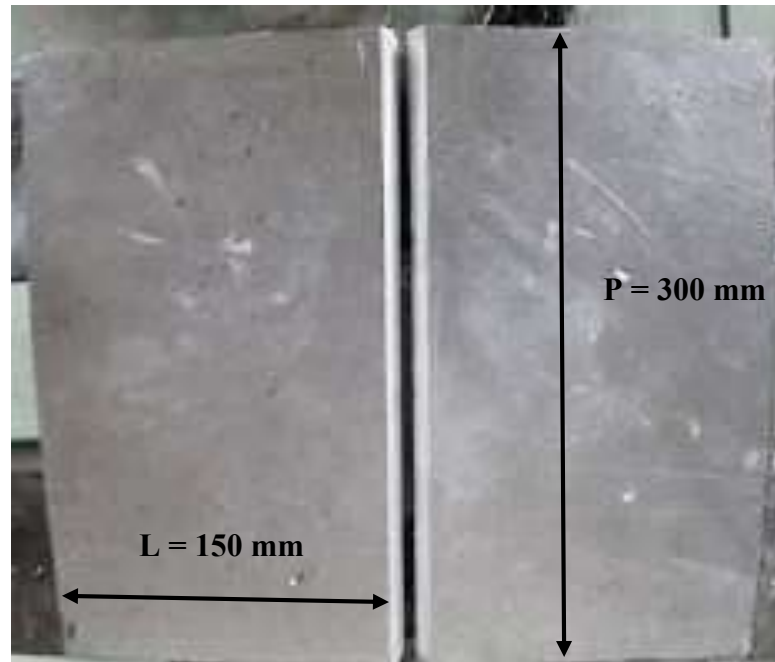
Tipe : ASTM A36

Panjang : 300 mm

Lebar : 150 mm

Tebal : 10 mm

Kampuh : *Single V-groove*



Gambar 3.2. Persiapan Material Uji Baja ASTM A36

- Persiapan Larutan Media Uji

Pada penelitian ini, digunakan larutan kimia sebagai pengganti air laut. Komposisi kimia pengganti air laut sesuai dengan standart ASTM D1141 *Standard Practice for the Preparation of Substitute Ocean Water* yakni pada salinitas 35‰.

- Pesiapan Percobaan

Persiapan spesimen uji dan bahan penelitian

- a. Material Plat baja ASTM A36.
- b. Persiapan peralatan, Adapun peralatan yang digunakan dalam proses pengelasan SMAW, yaitu:
 - Mesin las tipe SMAW
 - Elektrode
 - Gerinda
 - Sikat baja
 - Palu
 - Penjepit baja
 - Sarung tangan

- Helm pelindung
- Kostum praktikum
- Stopwatch
- Meteran

- Persiapan WPS

WPS dipersiapkan sebagai kualifikasi tertulis dari prosedur pengelasan yang digunakan sebagai panduan untuk mendapatkan hasil lasan sesuai dengan yang dibutuhkan. Pembuatan WPS mengacu pada standart *ASME IX QW-200.1 Welding Procedure Qualification*.

3.2.3 Proses Pengelasan SMAW di Lingkungan Darat

Langkah selanjutnya adalah proses pengelasan. Pengelasan kali ini menggunakan las jenis SMAW dengan menggunakan jenis elektroda E-6013. Langkah – langkah proses pengelasan tersebut secara umum:

- a. Pengelasan dimulai dengan track weld agar materia las tidak bergeser.
- b. Alur las dihaluskan dengan menggunakan gerinda.
- c. Persiapan mesin las, besarnya voltase dan arus pada mesin las disesuaikan dengan parameter sebagai berikut:
 - Filler Metal:
 - AWS no. : E6013
 - Diameter : 2,6 mm
 - Welding position : 1G (datar)
 - Current : DC
 - Polarity : DCRP (*Reserve polarity*)
 - Ampere (range) : 70 – 80 Ampere
 - Voltage (range) : 19 – 22 V
- d. Proses pengelasan mulai dilakukan.
- e. Setelah pengelasan pada layer pertama selesai, maka permukaan las dibersihkan dari kerak las menggunakan sikat baja dan palu.
- f. Permukaan las dibuat rata dengan menggunakan gerinda untuk membenruk alur las bagi layer kedua.

- g. Ulangi langkah d, e, dan f untuk layer kedua dan layer ke 3.

3.2.4 Proses Pengelasan SMAW di bawah air dengan salinitas 35‰.

Pada dasarnya proses pengelasan basah sama dengan langkah pada proses pengelasan di darat. Proses pengelasan mulai dilakukan dalam bak yang telah berisi larutan media uji berdasarkan standart ASTM D1141-98. Langkah – langkah proses pengelasan tersebut secara umum:

- a. Pengelasan dimulai dengan track weld agar materia las tidak bergeser.
- b. Alur las dihaluskan dengan menggunakan gerinda.
- c. Persiapan mesin las, besarnya voltase dan arus pada mesin las disesuaikan dengan parameter sebagai berikut:
 - Filler Metal:
 - AWS no. : E6013
 - Diameter : 2,6 mm
 - Welding position : 1G (datar)
 - Coating : Isolasi listrik
 - Current : DC
 - Polarity : DCRP (*Reserve polarity*)
 - Ampere (range) : 70 – 80 Ampere
 - Voltage (range) : 19 – 22 V
- d. Proses pengelasan mulai dilakukan di dalam bak dengan larutan uji dengan salinitas 35‰.
- e. Setelah pengelasan pada layer pertama selesai, maka permukaan las dibersihkan dari kerak las menggunakan sikat baja dan palu.
- f. Permukaan las dibuat rata dengan menggunakan gerinda untuk membenruk alur las bagi layer kedua.
- g. Ulangi langkah d, e, dan f untuk layer kedua, layer ke 3, dan layer ke 4

3.2.5 Pengujian NDT

Setelah proses pengelasan, maka dilakukan uji kualitas las dengan menggunakan uji NDT (*non destructive test*) yaitu *ultasonik test* untuk mengetahui apakah ada cacat atau tidak pada material Baja A36 yang selesai dilas.



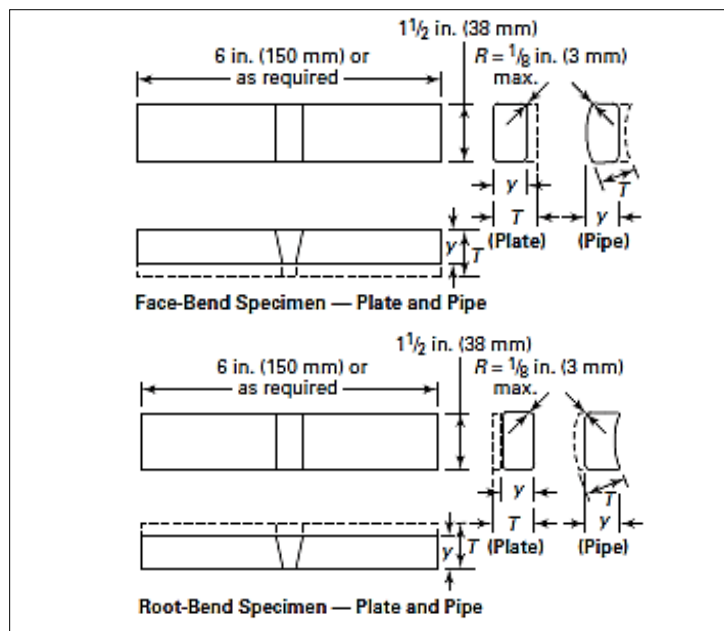
Gambar 3.3. Equipment Pengujian Ultrasonik

3.2.6 Pembuatan Spesimen

Sampel uji disiapkan sesuai persyaratan yang tercantum dalam standart pengujian. Berikut yang menjadi acuan dalam persiapan sampel uji:

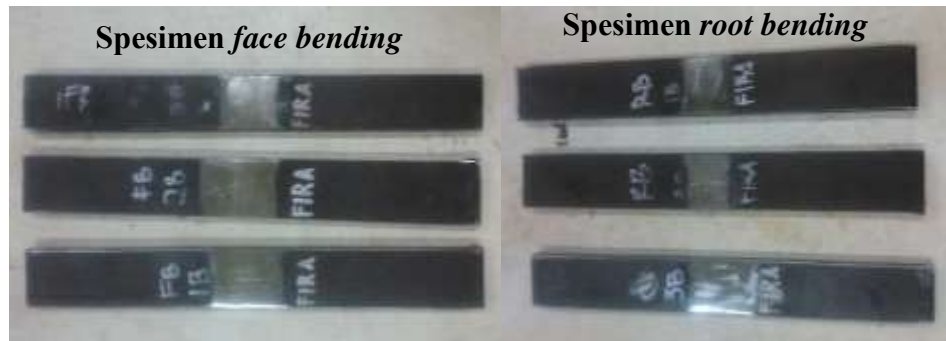
- Spesimen Uji Bending

Standart yang digunakan untuk membuat specimen uji bending adalah ASME Section IX QW – 462.3 (a) *Test Specimen Bends – Face and Root Bends Transverse*. Pengujian tekuk yang akan dilakukan adalah dua jenis yaitu *face bend* dan *root bend*..

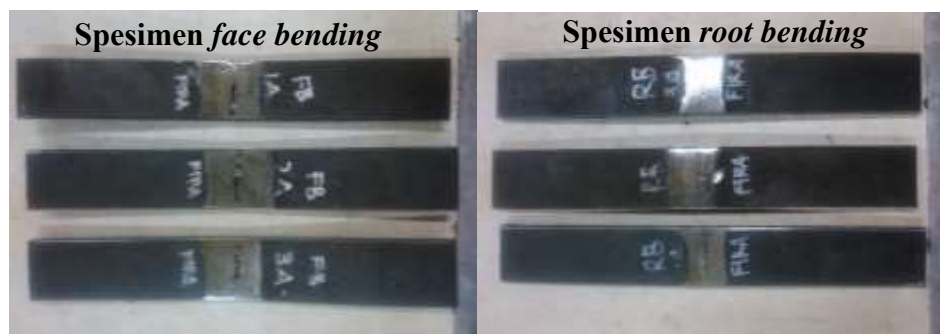


Gambar 3.4. Spesimen Uji *Root* dan *Face Bend* (ASME Section IX, 2015)

Spesimen uji bending berjumlah 12 spesimen, untuk pengelasan SMAW di darat dan di bawah air masing – masing untuk pengujian face bending sebanyak 3 spesimen dan root bending sebanyak 3 spesimen.



Gambar 3.5. Spesimen Uji *Root* dan *Face Bend* Pengelasan SMAW di Darat.



Gambar 3.6. Spesimen Uji *Root* dan *Face Bend* Pengelasan SMAW di Bawah Air dengan Salinitas 35%.

- Spesimen Uji Kekerasan

Pengujian kekerasan bertujuan untuk mengetahui distribusi kekerasan pada logam las (weld metal), HAZ, dan logam dasar (base metal). Standart untuk pengujian kekerasan Vickers adalah *ASTM E92 Standard Test Method for Vickers Hardness of Metallic Materials*. Hasil dari pengujian kekerasan dapat dihubungkan dengan perubahan struktur mikro yang ada di sampel hasil lasan. Prinsip dari uji kekerasan Vickers adalah besar beban dibagi dengan luas daerah indentasi atau dapat dirumuskan seperti berikut ini :

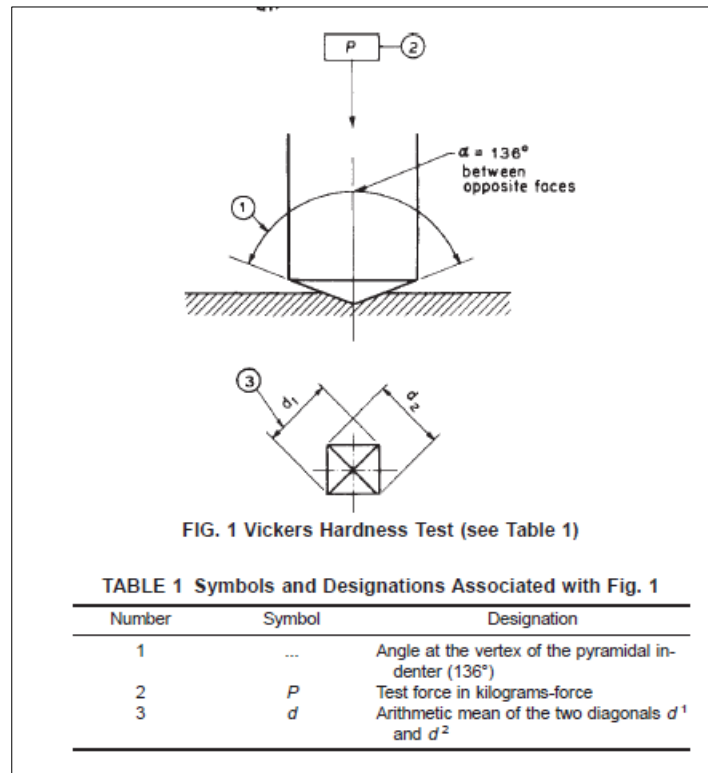
$$VHN = \frac{2P \sin(\frac{\theta}{2})}{d^2} = \frac{1854 \times P}{d^2}$$

Dimana :

P = Beban (gramforce)

d = Panjang diagonal rata-rata (mm)

θ = Sudut piramida 136°



Gambar 3.7. Penampang Indentor Uji Microhardness Vickers (ASTM E92, 2003).



Gambar 3.8. Spesimen Uji Microhardness Vickers.

- Spesimen Uji Metalografi

Spesimen yang digunakan untuk uji metalografi sama dengan spesimen yang digunakan untuk pengujian hardness. Sebelum dilakukan pengamatan struktur makro dan mikro, maka perlu dilakukan beberapa perlakuan terhadap benda uji diantaranya:

- Benda uji diampas dengan menggunakan ampas mulai dari grit 80, 120, 240, 400, 600, 800, 1000, 1200, 1500, 2000.
- Setelah benda uji diampas, etsa dengan larutan HN03.
- Poles dengan larutan etsa, kemudian dibilas dengan alkohol.
- Kemudian benda uji dikeringkan.

3.2.7 Pengujian Mekanis

- Pengujian Bending

Pengujian bending yang dilakukan adalah berupa face bend dan root bend. *Face bend* digunakan untuk mengetahui kekuatan mekanis dari *face* kampuh las, sedangkan *root bend* dilakukan untuk mengetahui kekuatan mekanis dari *root*.

Langkah – langkah pengujian bending adalah:

- Letakkan spesimen uji bending pada mesin bending.
- Untuk pengujian root bend, root atau dasar las diletakkan pada bantalan U agar akar las mengalami tegangan tarik dan permukaan las mengalami tegangan tekan.
- Untuk pengujian face bend, face atau permukaan las diletakkan pada bantalan U agar permukaan las mengalami tegangan tarik dan akar las mengalami tegangan tekan.
- Peletakan spesimen uji bending harus tepat di tengah bantalan U pada mesin bending agar didapatkan hasil yang sempurna.
- Turunkan bending secara perlahan hingga ujung penekan mengenai spesimen uji, selanjutnya turunkan alat bending secara perlahan agar mendesak spesimen ke bawah .
- Pengujian dilakukan hingga material mengalami perubahan bentuk dan amati permukaan dari spesimen uji.

- Bila setelah dilakukan uji bending terdapat cacat, ukur dan catat pada lembar kerja ukuran dan jenis cacat tersebut.
- Ulangi semua langkah di atas untuk semua spesimen uji bending.



Gambar 3.9. Mesin Uji Bending.

- **Pengujian Kekerasan**

Pengujian kekerasan dilakukan menggunakan jenis Vickers Hardness. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui kemampuan benda dalam menerima pembebanan atau indentasi dengan beban dan waktu yang telah ditentukan.

Langkah – langkah pengujian kekerasan adalah:

- Setelah mesin microhardness siap digunakan, spesimen diletakkan pada meja indentasi.
- Spesimen uji ditempelkan ke idendor untuk proses initial force ke permukaan spesimen uji.
- Kemudian beban diatur dengan range 10 kgf dan tuas beban dilepas sehingga terjadi proses indentasi.
- Tahan tuas hingga 15 detik sehingga pada layar akan didapatkan hasil secara otomatis untuk panjang diagonal 1, panjang diagonal 2, dan nilai HVN.

- Kemudian indentor dipindahkan ke titik selanjutnya yang akan diidentifikasi.



Gambar 3.9. Pengujian Microhardness Vickers

3.2.8 Pengujian Metalografi

Uji Metalografi dilakukan sesuai dengan ASTM E3-01 *Standard Guide for Preparation of Metallographic Specimens*. Pengambilan foto struktur mikro dilakukan pada daerah logam las (*weld metal*), batas las, HAZ, dan logam induk. Untuk foto makro perbesaran 7x menggunakan kamera, , sedangkan untuk mikro perbesaran 100x dan 400x.



Gambar 3.10. Pengambilan Foto Makro



Gambar 3.11. Pengambilan Foto Mikro dengan Menggunakan Mikroskop

3.2.9 Analisa Data dan Pembahasan

Pada tahap ini dilakukan analisa dan pembahasan mengenai data hasil pengujian tersebut. Dari hasil pengujian bending, pengujian kekerasan dan pengujian metalografi dapat dilakukan analisa sesuai dengan codes atau standart yang berkaitan. Sehingga dari hasil analisa tersebut dapat menjawab permasalahan yang dirumuskan.

3.2.10 Kesimpulan dan Saran

Dari hasil analisa data dan pembahasan maka dapat dibuat kesimpulan yang sesuai dengan perumusan masalah dalam penelitian ini dan memberikan saran untuk penelitian selanjutnya sebagai penyempurnaan penelitian ini.

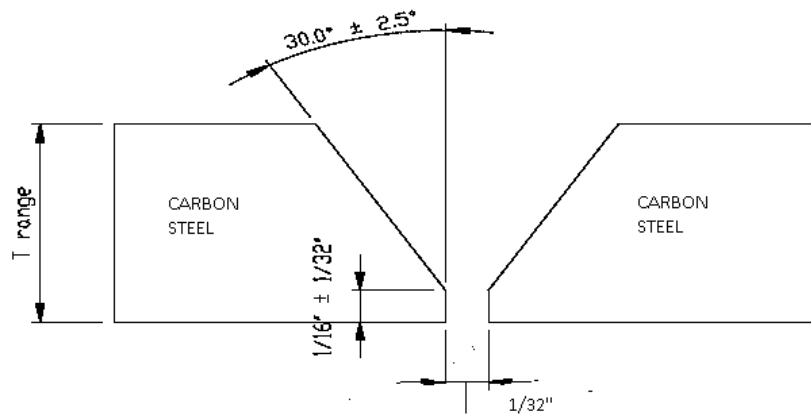
BAB IV ANALISA HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. *Welding Prosedure Standard (WPS)*

Parameter pengelasan dan WPS (*Welding Prosedure Standard*) untuk percobaan pada material dengan tebal 10 mm adalah sebagai berikut:

4.1.1. Pengelasan SMAW di Lingkungan Darat

Welder	: Rachmad (Welder PPNS)
Proses Pengelasan	: SMAW (<i>Shielded Metal Arc Welding</i>)
Posisi Penngelasan	: 1G (<i>flat position</i>)
Kampuh Las	: <i>Single V groove</i>
Material	: Plat baja <i>mild steel</i> ASTM A36
Elektroda	: AWS E.6013
Dimensi	: 300mm x 150mm x 10 mm

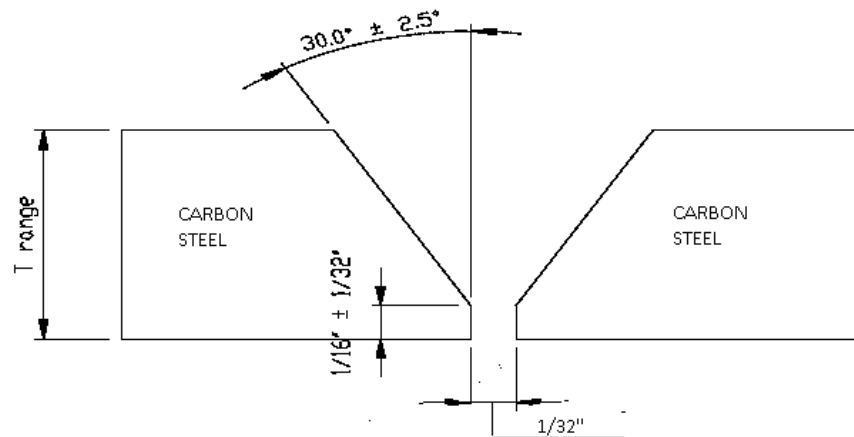


Gambar. 4.1. Gambar Design Sampel Lasan

4.1.2. Pengelasan SMAW Wet Welding di Air Laut Salinitas 35 ‰

Welder	: Rachmad (Welder PPNS)
Proses Pengelasan	: SMAW (<i>Shielded Metal Arc Welding</i>)
Posisi Penngelasan	: 1G (<i>flat position</i>)
Kampuh Las	: <i>Single V groove</i>
Material	: Plat baja <i>mild steel</i> ASTM A36
Elektroda	: AWS E.6013
Coating	: Isolasi Listrik

Dimensi : 300mm x 150mm x 10 mm



Gambar. 4.2. Gambar Design Sampel Lasan

4.2. Hasil Pengelasan

Dalam percobaan pengelasan kali ini range arus yang digunakan untuk pengelasan SMAW baik di lingkungan darat maupun SMAW wet welding di lingkungan laut salinitas 35‰ adalah 70 – 80 ampere dengan tegangan 19 – 22 ampere.

4.2.1. Pengelasan SMAW di Lingkungan Darat



Gambar. 4.3. Hasil Pengelasan Plat Baja ASTM A36 dengan Metode SMAW di Lingkungan Darat

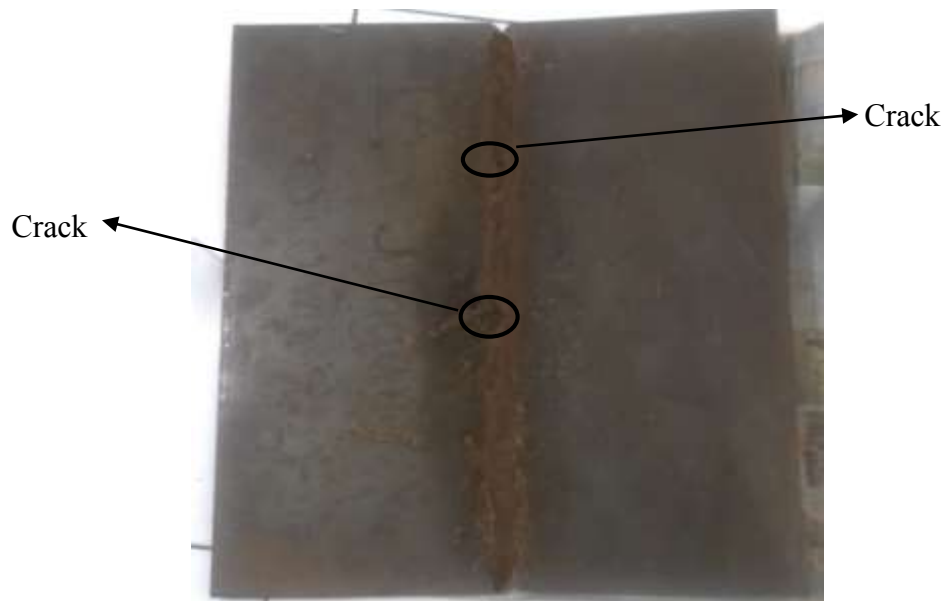
Pencatatan pada saat proses pengelasan menggunakan metode SMAW di lingkungan darat didapatkan data-data seperti pada Tabel 4.1 berikut :

Tabel 4.1. Hasil *record* proses pengelasan menggunakan metode SMAW di lingkungan darat.

Layer	Process	Filler Metal		Current Type and Polarity	Ampere (Range)	Volts (Range)
		AWS No.	Diameter (mm)			
1	SMAW	6013	2,6	DCRP	70-80	19-22
2	SMAW	6013	2,6	DCRP	70-80	19-22
3	SMAW	6013	2,6	DCRP	70-80	19-22
4	SMAW	6013	2,6	DCRP	70-80	19-22

Dari data pada tabel 4.1. didapatkan hasil untuk pengelasan SMAW di darat menggunakan arus dengan rentang 70 – 80 ampere dengan tegangan 19 – 22 ampere menghasilkan 4 layer pengelasan.

4.2.2. Pengelasan SMAW Wet Welding di Air Laut Salinitas 35 %



Gambar. 4.4. Hasil Pengelasan Plat Baja ASTM A36 dengan Metode SMAW di Bawah Air dengan Salinitas 35 %.

Pencatatan pada saat proses pengelasan menggunakan metode SMAW di bawah air dengan salinitas 35 % didapatkan data-data seperti pada Tabel 4.2 berikut:

Tabel 4.2. Hasil *record* proses pengelasan menggunakan metode SMAW di bawah air dengan salinitas 35 %.

Layer	Process	Filler Metal		Current Type and Polarity	Ampere (Range)	Volts (Range)
		AWS No.	Diameter (mm)			
1	SMAW	6013	2,6	DCRP	70-80	19-22
2	SMAW	6013	2,6	DCRP	70-80	19-22
3	SMAW	6013	2,6	DCRP	70-80	19-22
4	SMAW	6013	2,6	DCRP	70-80	19-22
5	SMAW	6013	2,6	DCRP	70-80	19-22

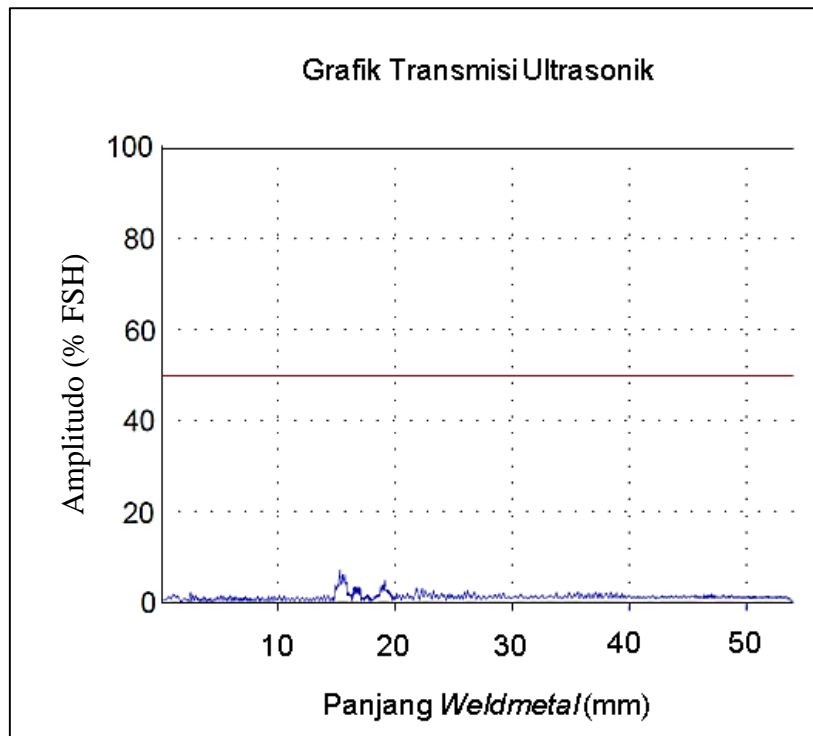
Dari data pada tabel 4.2. didapatkan hasil untuk pengelasan SMAW di bawah air dengan salinitas 35 % menggunakan arus dengan rentang 70 – 80 ampere dengan tegangan 19 – 22 ampere menghasilkan 5 layer pengelasan.

4.3. Hasil Pengujian Ultrasonik (Ultrasonik Test)

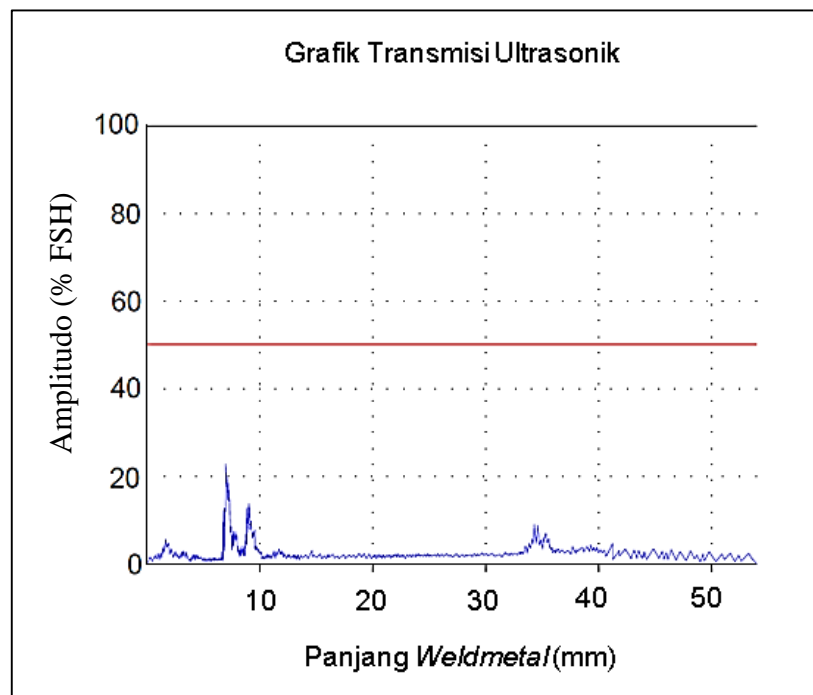
Pengujian ultrasonik dilakukan dengan menggunakan gelombang suara dengan frekuensi tinggi yang dirambatkan pada benda uji untuk mendeteksi cacat yang terjadi di dalam logam las. Jika terdapat anomali atau cacat di dalam spesimen uji, maka gelombang suara akan dipantulkan lebih cepat daripada jarak pantul seharusnya.

Pengujian ultrasonik pada hasil pengelasan kali ini dilakukan oleh “PT. ROBUTECH” Dari hasil *Ultrasonic Test* yang telah dilakukan di peroleh hasil sebagai berikut:

4.3.1. Hasil Pengujian Ultrasonik Pengelasan SMAW di Lingkungan Darat



Gambar 4.5. Grafik Transmisi Pengujian Ultrasonik Pada Pengelasan SMAW di Lingkungan Darat Pada Panjang 132 mm dari Ujung Lasan

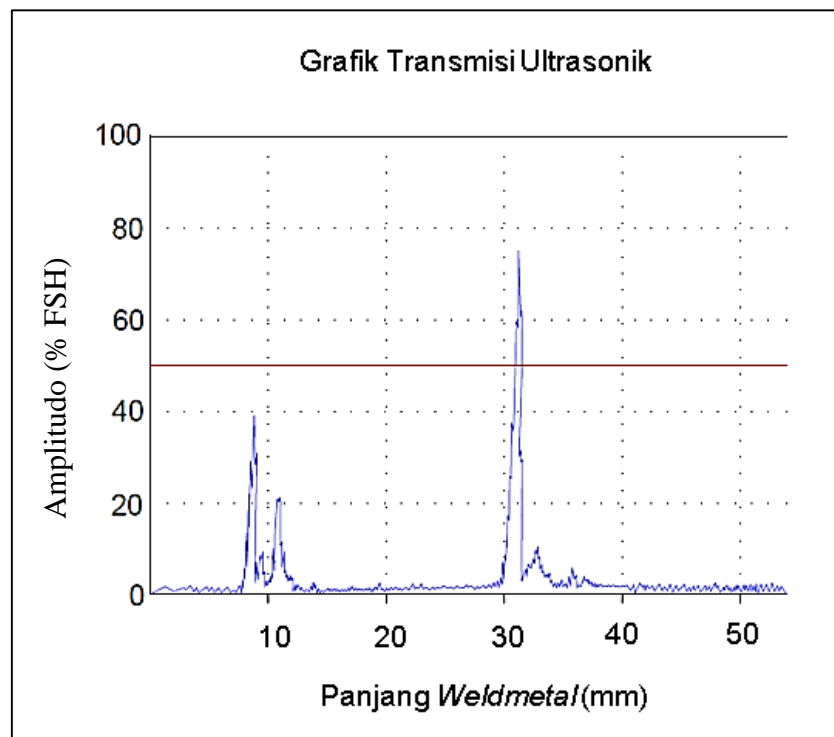


Gambar 4.6. Grafik Transmisi Pengujian Ultrasonik Pada Pengelasan SMAW di Lingkungan Darat Pada Panjang 244 mm dari Ujung Lasan

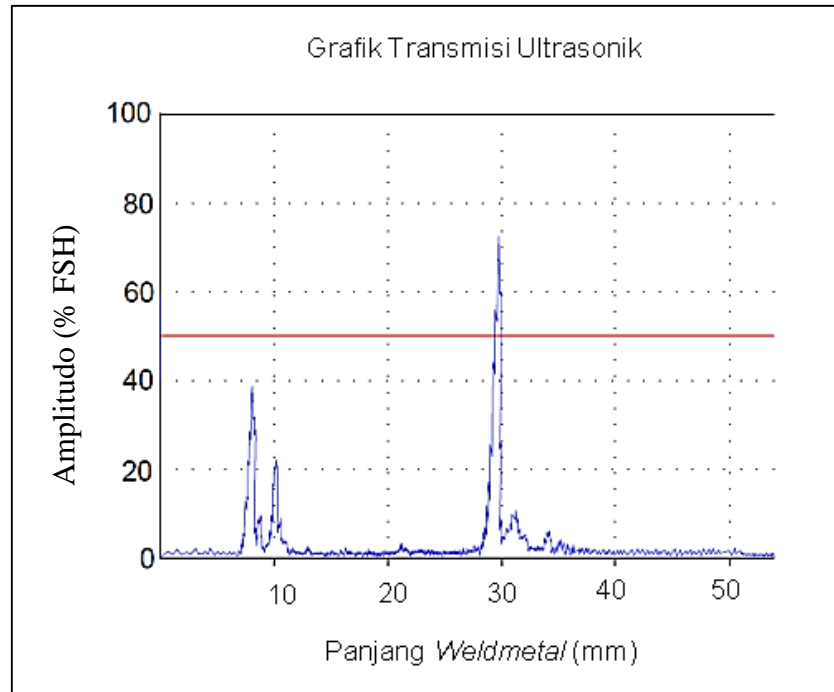
Dapat dilihat pada Gambar 4.7 bahwa pada panjang 132 mm dari ujung lasan tidak terdapat indikasi cacat. Pada Gambar 4.8. bahwa pada panjang 132 mm dari ujung lasan tidak terdapat indikasi cacat.

Grafik transmisi dari hasil pengujian ultrasonik pada pengelasan SMAW di lingkungan darat rata – rata tidak menunjukkan adanya indikasi cacat sepanjang daerah lasan, oleh karena itu hanya diambil 2 gambar grafik secara acak pada panjang 132 mm dan 244 mm dari ujung lasan. Dapat dilihat dari grafik transmisi pada gambar 4.7. dan gambar 4.8. tidak terdapat indikasi cacat yang cukup berarti dan tidak melebihi batas kalibrasi amplitudo maksimal. Sehingga plat baja ASTM A36 pada pengelasan SMAW di lingkungan darat dinyatakan diterima atau *accepted*.

4.3.2. Hasil Pengujian Ultrasonik Pengelasan SMAW di bawah Air dengan Salinitas 35 %



Gambar 4.7. Grafik Transmisi Pengujian Ultrasonik Pada Pengelasan SMAW di Bawah Air dengan Salinitas 35 % pada Panjang 38 mm dari Ujung Lasan



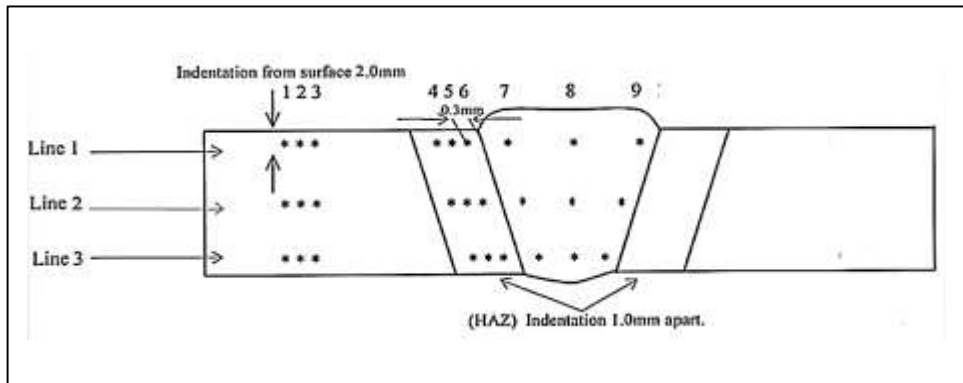
Gambar 4.8. Grafik TransmisiPengujian Ultrasonik Pada Pengelasan SMAW di Bawah Air dengan Salinitas 35 % pada Panjang 146 mm dari Ujung Lasan

Untuk hasil pengujian ultrasonik pada pengelasan SMAW di bawah air dengan salinitas 35 %, dari grafik transmisi ultrasonik terdapat indikasi cacat berupa crack pada panjang 38 mm dari ujung lasan dengan kedalaman 10,15 mm dan pada panjang 146 mm dari ujung lasan dengan kedalaman 10,16 mm. Cacat las yang terbentuk berupa crack yang dalamnya sama dengan tebal plat, karena terdapat cacat yang kedalamannya sama dengan tebal plat. Maka untuk plat baja ASTM A36 pada pengelasan SMAW di bawah air dengan salinitas 35 %, Salinitas 35 % dinyatakan harus diperbaiki atau *repaired*.

4.4. Hasil Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan (*hardness*) digunakan untuk mencari tingkat kekerasan dari suatu material, dari nilai kekerasan akan diketahui jenis material ductile atau brittle. Semakin tinggi nilai kekerasan maka material tersebut semakin brittle. Pengujian kali ini dilakukan dengan alat uji micro hardness vickers milik Laboratorium Konstruksi dan Kekuatan Kapal FTK ITS. Pengujian kekerasan dilakukan pada 9 titik meliputi logam dasar (Base Metal) sebanyak 3 titik. HAZ

sebanyak 3 titik, dan Weld Metal sebanyak 3 titik. Pengujian dilakukan untuk melihat perbedaan nilai kekerasan antara kondisi pengelasan yang bervariasi.



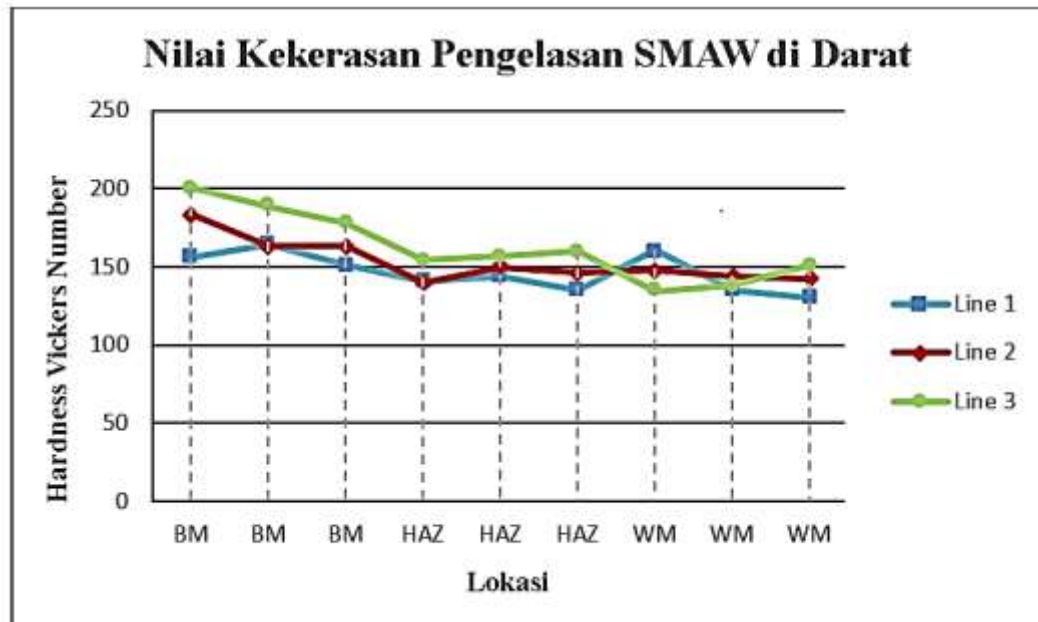
Gambar 4.9. Pengujian Kekerasan untuk Spesimen Uji

Hasil dari pengujian kekerasan untuk pengelasan SMAW di lingkungan darat dapat dilihat pada tabel di bawah ini:

Tabel 4.3. Hasil Uji Kekerasan Pengelasan SMAW di Darat

Kondisi Pengelasan	Material	Lokasi Test	Vickers Hardness Number (HV)				
			F = 9,808 N				
			No.	Line 1	Line 2	Line 3	Rata - Rata
SMAW di lingkungan darat	ASTM A36	Base Metal	1	156,3	183,9	200,5	180,2
			2	164,5	163	188,8	172,1
			3	151,1	163,5	178,1	164,2
		Heat Affected Zone (HAZ)	4	141	140,1	154,5	145,2
			5	143,8	149,9	156,7	150,1
			6	135,1	146,6	160,5	147,4
		Weld Metal	7	160,7	147,7	134,5	147,7
			8	135,1	144,3	137,9	139,1
			9	129,9	142,6	151,1	141,2

Setelah didapatkan nilai kekerasan untuk pengelasan di darat maka nilai kekerasan ditransformasikan ke dalam grafik pada gambar 4.10.



Gambar 4.10. Grafik Nilai Kekerasan Pengelasan SMAW di Darat

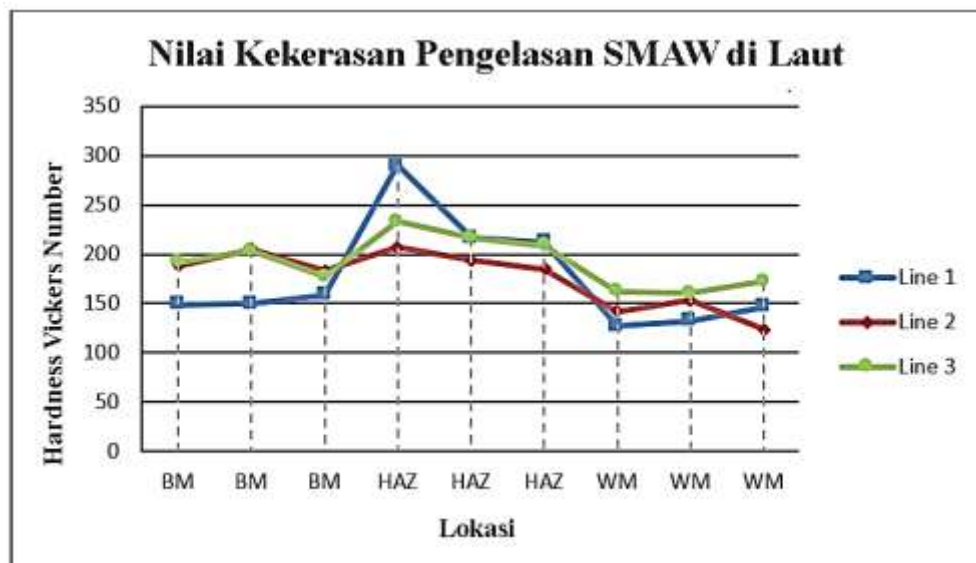
Dari grafik pada gambar 4.10. dapat dilihat bahwa letak kekerasan tertinggi rata – rata terdapat di daerah Base Metal dengan nilai kekerasan tertinggi pada line 3 yaitu 200,5 HVN dan nilai kekerasan terendah pada line 1 yaitu 151,5 HVN. Pada daerah HAZ, terjadi penurunan nilai kekerasan dari Base Metal ke daerah HAZ dengan nilai kekerasan tertinggi yaitu 160,5 HVN pada line 3 dan nilai kekerasan terendah pada line 1 yaitu 135,1 HVN. Dan untuk daerah weld metal, nilai kekerasan tidak lebih tinggi dari daerah HAZ kecuali untuk line 1 nilai kekerasan daerah weld metal lebih besar dari nilai kekerasan pada HAZ yaitu sebesar 160,7 HVN. Sedangkan untuk line 2 dan line 3, nilai kekerasan pada daerah weld metal mengalami penurunan dari nilai kekerasan pada daerah HAZ.

Untuk hasil dari pengujian kekerasan pada pengelasan SMAW di lingkungan laut dapat dilihat pada tabel 4.4. di bawah ini:

Tabel 4.4. Hasil Uji Kekerasan Pengelasan SMAW Bawah Air dengan Salinitas 35 ‰

Kondisi Pengelasan	Material	Lokasi Test	Vickers Hardness Number (HV)				
			F = 9,808 N				
			No.	Line 1	Line 2	Line 3	Rata - Rata
SMAW di lingkungan Laut	ASTM A36	Base Metal	1	148,7	188,5	191,9	176,4
			2	149,7	205,2	203,6	186,2
			3	158,1	183,4	177	172,8
		Heat Affected Zone (HAZ)	4	290,2	206,6	233,2	243,3
			5	216,8	194,1	216,8	209,2
			6	212,2	184,8	208,8	201,9
		Weld Metal	7	127,8	142,1	162,4	144,1
			8	132,5	153,1	160,1	148,6
			9	146,9	123,6	172,1	147,5

Setelah didapatkan nilai kekerasan untuk pengelasan di lingkungan laut maka nilai kekerasan ditransformasikan ke dalam grafik pada gambar 4.11.:



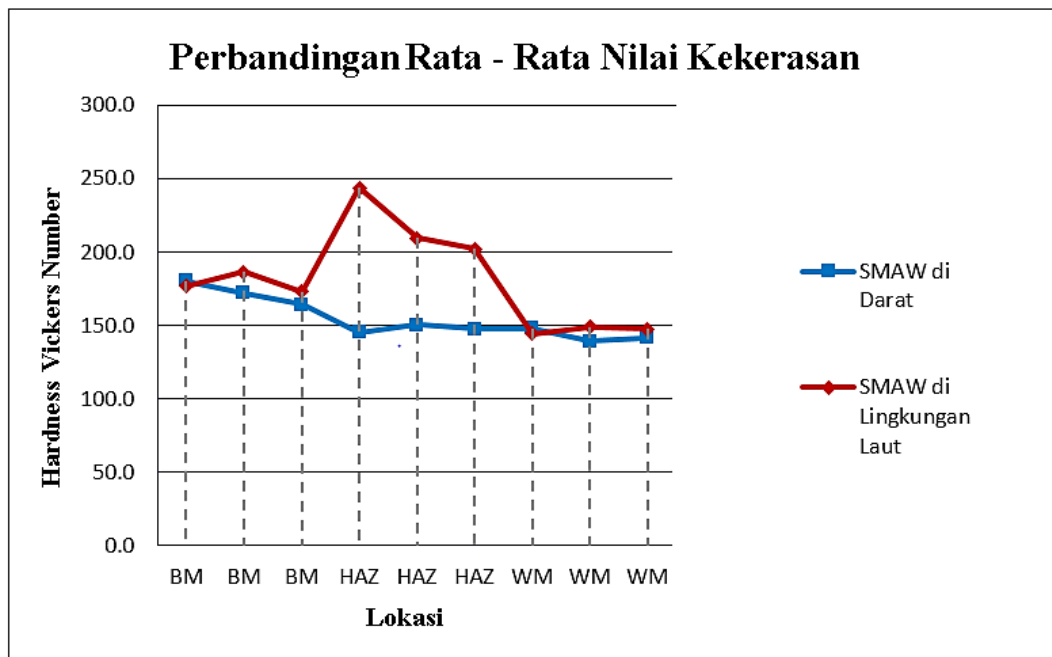
Gambar 4.11. Grafik Nilai Kekerasan Pengelasan SMAW di Bawah Air dengan Salinitas 35 ‰

Dari grafik hasil uji kekerasan pada gambar 4.11. dapat dilihat nilai kekerasan tertinggi terdapat di daerah HAZ dengan nilai kekerasan tertinggi pada line 1 yaitu sebesar 290,2 HVN dan terendah pada line 2 yaitu 184,8 HVN. Sedangkan pada daerah base metal dan weld metal nilai kekerasan tidak lebih tinggi daripada nilai kekerasan pada daerah HAZ. Pada daerah *base metal* nilai kekerasan tertinggi terdapat pada line 2 yaitu 205,2 HVN dan pada daerah *weld metal* nilai kekerasan tertinggi terdapat pada line 3 yaitu 172,1 HVN.

Berdasarkan standart AWS D3.6M – *Underwater Welding Code* nilai kekerasan maksimum hasil pengelasan bawah air untuk HAZ dan *weld metal* kelas A adalah 325 HVN, maka untuk hasil uji kekerasan pada pengelasan bawah air sampel uji telah memenuhi standart AWS D3.6M karena nilai kekerasan tertinggi dibawah 325 HVN yaitu 290,2 HVN pada HAZ dan 172,1 HVN pada *weld metal*.

4.4.1. Kesimpulan dari Pengujian Kekerasan

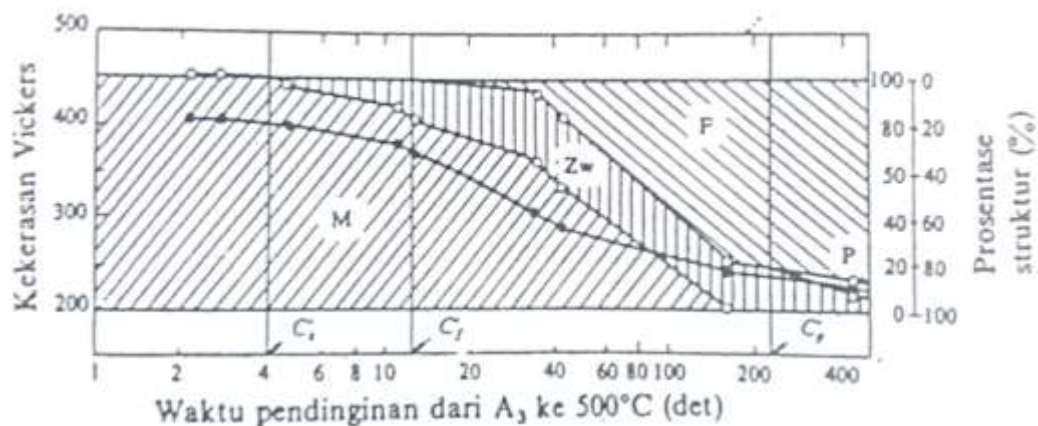
Analisa terhadap nilai kekerasan menghasilkan kesimpulan bahwa pengelasan SMAW di lingkungan laut lebih keras pada daerah HAZ dibandingkan dengan pengelasan SMAW di darat. Hal ini dapat dilihat pada grafik perbandingan rata – rata nilai kekerasan di bawah ini.



Gambar 4.12. Grafik Perbandingan Rata- Rata Nilai Kekerasan

Hal ini disebabkan karena pengaruh media pengelasan, air laut dapat mempengaruhi pendinginan yang terjadi setelah dilakukan pengelasan. Nilai kekerasan tertinggi terdapat pada daerah HAZ untuk spesimen hasil pengelasan SMAW di lingkungan laut. Hal ini disebabkan karena pada daerah HAZ temperatur puncaknya merupakan temperatur puncak tertinggi dan memiliki pendinginan pengelasan yang paling cepat karena transfer panas yang cepat. Penurunan kekerasan pada daerah weld metal disebabkan karena adanya hidrogen pada logam cair yang cukup besar. Selain itu, salinitas air laut juga mempengaruhi nilai kekerasan karena salinitas berpengaruh pada pembentukan struktur mikro dari material.

Hasil nilai kekerasan dapat digunakan untuk menentukan struktur mikro dari suatu material. Pada gambar 4.13. ditunjukkan hubungan antara prosentase struktur yang terbentuk dengan nilai kekerasan baja yang didaapat melalui beberapa macam pendinginan (dari 787°C ke 500°C).



Gambar 4.13. Hubungan antara Waktu Pendinginan dengan Kekerasan dan Prosentase Struktur (Wiryosumarto, 1996).

Dari hasil nilai kekerasan pengelasan di bawah air pada daerah HAZ sebesar 290,2 HVN maka apabila dilihat dari gambar 4.13 struktur mikro yang akan terbentuk pada daerah ini sebagian besar adalah martensit. Sedangkan pada daerah *base metal* dan *weld metal* adalah ferit dan perlit karena nilai kekerasan pada daerah *base metal* dan *weld metal* di bawah 200 HVN.

4.5. Hasil Pengujian Bending

Bending test atau uji tekuk dilakukan pada spesimen uji hasil pengelasan dengan mengacu kepada standar ASME Section IX QW – 462.3 (a) *Test Specimen Bends – Face and Root Bends Transverse*. Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mendapatkan informasi kualitas dari suatu hasil pengelasan. Hal ini dapat ditinjau dari sifat ketangguhan material setelah dilakukan pengelasan, terutama pada daerah kampuh las. Ketangguhan adalah kombinasi antara kekuatan dan keuletan dari suatu material. Ketangguhan didefinisikan sebagai kemampuan material untuk menyerap energi sampai material tersebut mengalami perpatahan. Ketangguhan hasil pengelasan dapat dilihat dari sejauh mana plat dapat dibengkokkan sampai sudut terbesar. Material dikatakan tangguh apabila sudut pembengkokkan dari spesimen uji semakin besar.

Pengujian bending kali ini dilakukan di Laboratorium Konstruksi dan Kekuatan Kapal FTK ITS. Pengujian bending yang dilakukan adalah dua jenis yaitu *face bend* dan *root bend*. *Face bend* digunakan untuk mengetahui kekuatan mekanis dari *face* kampuh las, sedangkan *root bend* dilakukan untuk mengetahui kekuatan mekanis dari *root* lasan. Dari hasil pengujian dapat dilihat baik buruknya kualitas material hasil pengelasan.

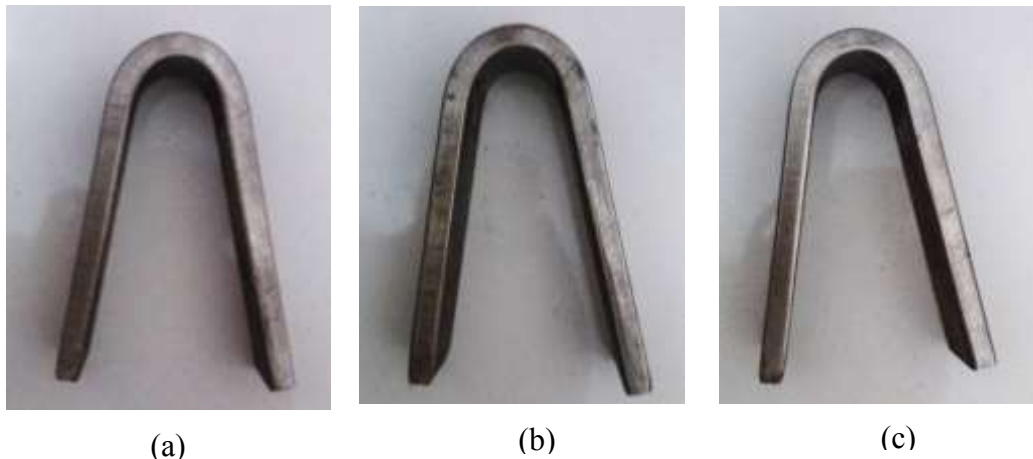
Hasil pengujian bending dapat dinyatakan lulus atau accepted apabila sesuai dengan kriteria penerimaan yang ada dalam standart. Standart kriteria penerimaan kelulusan untuk uji bending terdapat pada ASME Section IX edisi 2015. Standart kriteria tersebut antara lain:

1. Pada daerah weld metal dan HAZ (heat-affected zone), spesimen uji tidak boleh terdapat retak terbuka yang ukurannya tidak melebihi $\frac{1}{8}$ in (3mm) 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 SI (*slag inclusions*), IF (*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 (3mm).

4.5.1. Data Kekuatan Bending Root Hasil Pengelasan SMAW di Darat

Tabel 4.5. Hasil dari Kekuatan Tekuk (Root Bend Test) Hasil Pengelasan SMAW di Darat

No.	Sample Mark	Identification	Diameter Mandrel	Test Result	Result
				Open Defect (mm)	
1	A1	Root Bend 1	32	2,23	Accepted
2	A2	Root Bend 2	32	-	Accepted
3	A3	Root Bend 3	32	-	Accepted



Gambar 4.14. Hasil Uji *Root Bend* Pengelasan SMAW di Darat; (a) sampe A1; (b) sample A2; (3) sample A3.

Pengujian pada spesimen bending ini menggunakan posisi root bend. Tes ini menghasilkan retakan pada permukaan material dengan panjang retak 2,23 mm untuk spesimen A1, sedangkan untuk spesimen A2 dan A3 tidak terdapat retak. Berdasarkan ASME Section IX edisi 2015 cacat ini masih dapat diperbolehkan karena tidak lebih dari 3mm. Sehingga untuk ketiga spesimen A1, A2, dan A3 dinyatakan *accepted*. Selain itu ketangguhan dari logam hasil pengelasan dapat dikatakan sangat baik ditinjau dari besar sudut bending yang terbentuk. Ketiga sampel pengujian *root bending* mampu ditekuk hingga sudut 160°.

4.5.2. Data Kekuatan Bending Face Hasil Pengelasan SMAW di Darat

Tabel 4.6. Hasil dari Kekuatan Tekuk (Face Bend Test) Hasil Pengelasan SMAW di Darat

No.	Sample Mark	Identification	Diameter Mandrel	Test Result	Result
				Open Defect (mm)	
1	B1	Face Bend 1	32	2,30	Accepted
2	B2	Face Bend 2	32	-	Accepted
3	B3	Face Bend 3	32	2,91	Accepted



(a)

(b)

(c)

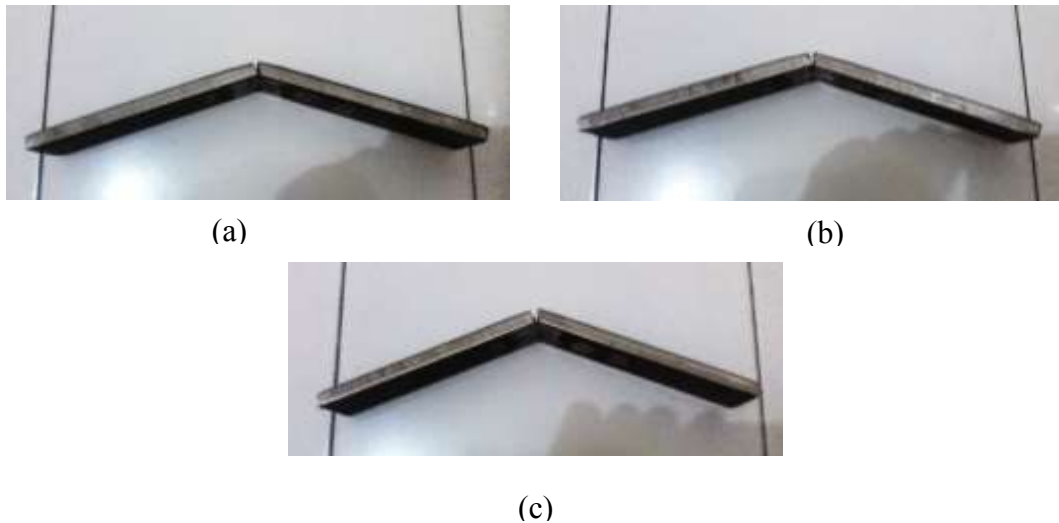
Gambar 4.15. Hasil Uji *Face Bend* pengelasan SMAW di Darat; (a) sampe B1; (b) sample B2; (3) sample B3.

Pengujian pada spesimen bending ini menggunakan posisi face bend. Terdapat retak terbuka atau open crack pada spesimen B1 sebesar 2,30 mm dan spesimen B3 sebesar 2,9 mm, sedangkan untuk spesimen B2 tidak terdapat crack atau none crack. Oleh karena itu ketiga spesimen ini dinyatakan accaptedd karena retak tidak melebihi kriteria yang terdapat di dalam ASME Section IX edisi 2015. Ketangguhan dari logam hasil pengelasan pada sampel B1, B2, dan B3 dapat dikatakan sangat baik ditinjau dari besar sudut bending yang terbentuk. Ketiga sampel pengujian *root bending* mampu ditekuk hingga sudut 160°.

4.5.3. Data Kekuatan Bending Root Hasil Pengelasan SMAW di Bawah Air dengan Salinitas 35‰

Tabel 4.7. Hasil dari Kekuatan Tekuk (Root Bend Test) Hasil Pengelasan SMAW di Bawah Air dengan Salinitas 35‰

No.	Sample Mark	Identification	Diameter Mandrel (mm)	Test Result	Result
				Open Crack (mm)	
1	C1	Root Bend 1	32	38,8	Rejected
2	C2	Root Bend 2	32	38,2	Rejected
3	C3	Root Bend 3	32	38,6	Rejected



Gambar 4.16. Hasil Uji *Root Bend* pengelasan SMAW di Bawah Air dengan Salinitas 35 ‰ ; (a) sampe B1; (b) sample B2; (3) sample B3.

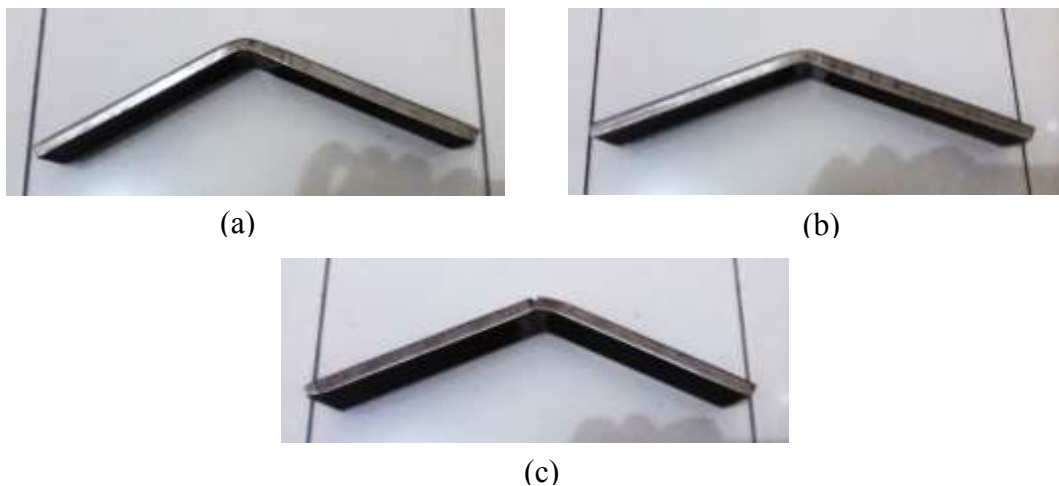
Pengujian pada spesimen bending ini menggunakan posisi root bend. Dari pengujian ini menghasilkan cacat longitudinal crack sepanjang daerah weld metal. Panjang retak untuk spesimen C1 adalah 38,8 mm, spesimen C2 ukuran retaknya 38,2 mm dan spesimen C3 38,6 mm. Berdasarkan standart kriteria yang ada di

ASME Section IX edisi 2015 ketiga material ini dinyatakan rejected karena ukuran cacat melebihi kriteria kelulusan.

4.5.4. Data Kekuatan Bending Root Hasil Pengelasan SMAW di Bawah Air dengan Salinitas 35‰.

Tabel 4.8. Hasil dari Kekuatan Tekuk (Face Bend Test) Hasil Pengelasan SMAW di Bawah Air dengan Salinitas 35‰

No.	Sample Mark	Identification	Diameter Mandrel	Test Result	Result
				Open Defect (mm)	
1	D1	Face Bend 1	32	37,7	Rejected
2	D2	Face Bend 2	32	37,6	Rejected
3	D3	Face Bend 3	32	38,1	Rejected



Gambar 4.17. Hasil Uji *Face Bend* pengelasan SMAW di Bawah Air dengan Salinitas Salinitas 35 ‰; (a) sampe B1; (b) sample B2; (3) sample B3.

Pengujian pada spesimen bending ini menggunakan posisi face bend. Hasil dari pengujian ini menunjukkan bahwa ketiga material uji mengamai open crack

sepanjang daerah weld metal yang panjangnya 37,7 mm untuk spesimen D1, 37,6 mm untuk spesimen D2 dan 38,1mm untuk spesimen D3 yang berarti untuk ketiga spesimen ini dinyatakan rejected karena ukuran cacat melebihi kriteria kelulusan yang terdapat di dalam ASME Section IX edisi 2015.

4.6. Hasil Pengujian Metalografi

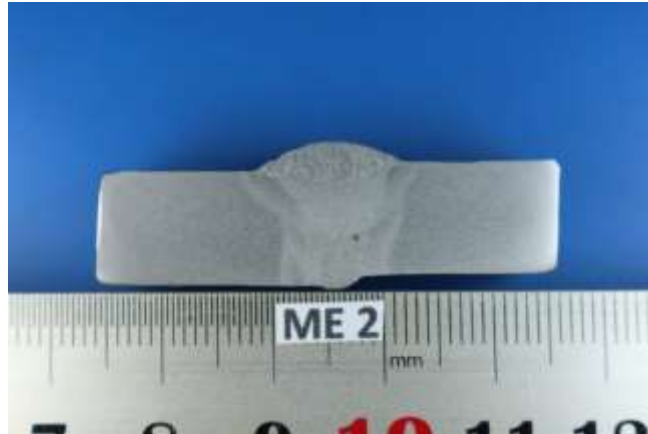
Spesimen pengujian untuk uji metalografi menggunakan spesimen uji yang sama dengan pengujian kekerasan. Pada pengujian metalografi dilakukan foto makro dan mikro untuk mengetahui struktur yang terbentuk dari hasil pengelasan.

4.6.1. Foto Makro

Dari foto struktur makro di pada gambar 4.17. dapat dilihat bahwa pada pengelasan SMAW di darat terdapat beberapa layer dan tidak terlihat adanya cacat pada daerah weld metal. Sedangkan pada gambar 4.18. untuk pengelasan SMAW di lingkungan laut terdapat beberapa cacat yaitu IP (*Incomplete Penetration*) pada *root* dan *porosity*. Leburan antar *layer* juga tidak sempurna dengan terlihatnya garis – garis antar *layer*. Lebar daerah HAZ juga tidak teratur, terlihat dengan adanya *overlapping*. Hal ini dapat terjadi karena pada saat pengelasan pandangan *welder* terganggu akibat benda yang dibiaskan oleh media air dan juga munculnya gelembung – gelembung gas di air dan pembakaran pelindung *flux* elektroda yang menyebabkan keruhnya air.



Gambar 4.18. Foto Makro Pengelasan SMAW di Bawah Air Salinitas 35 %.



Gambar 4.19. Foto Makro Pengelasan SMAW di lingkungan darat

4.6.2. Foto Mikro

Pengamatan struktur mikro dilakukan pada daerah base metal, HAZ, dan weld metal. Foto mikro yang diambil adalah perbesaran 400 kali pada ketiga titik tersebut. Perhitungan presentase struktur mikro menggunakan metode *point counting*. Metode *point counting* ini adalah dengan cara menghitung jumlah titik yang ada dalam suatu fasa dibagi dengan jumlah seluruh titiknya. Titik – titik tersebut didapat dari sebuah grid, grid yang digunakan adalah grid dengan total titiknya 100 untuk tiap kotak. Di dalam sebuah gambar foto mikro akan dibagi menjadi 9 kotak dengan ukuran yang sama. Masing – masing kotak menggunakan grid dengan total titik 100, sehingga keseluruhan titik pada untuk satu foto mikro adalah 900 titik. Perhitungan persentasi struktur mikro mempunyai kekurangan yaitu akurasi perhitungan yang didapatkan tidak hanya berasal dari metode perhitungan, tetapi juga operator yang menghitung. Rumus perhitungan metode *point counting* adalah:

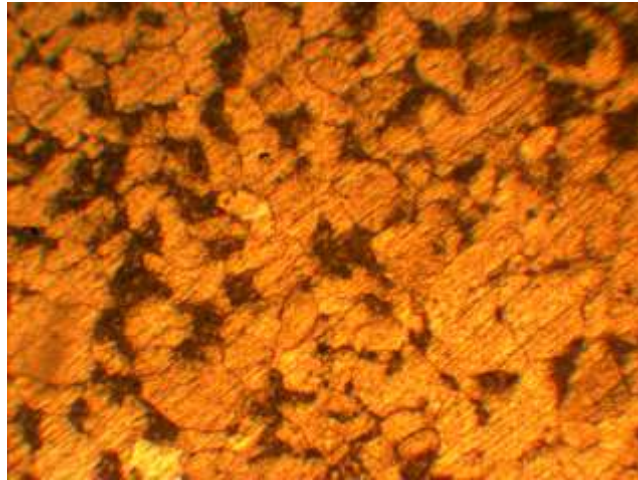
$$P_P = \frac{\sum P\alpha}{P_T} = \frac{\sum P\alpha}{nP_0}$$

Dimana:

$P_T = nP_0$ = jumlah titik

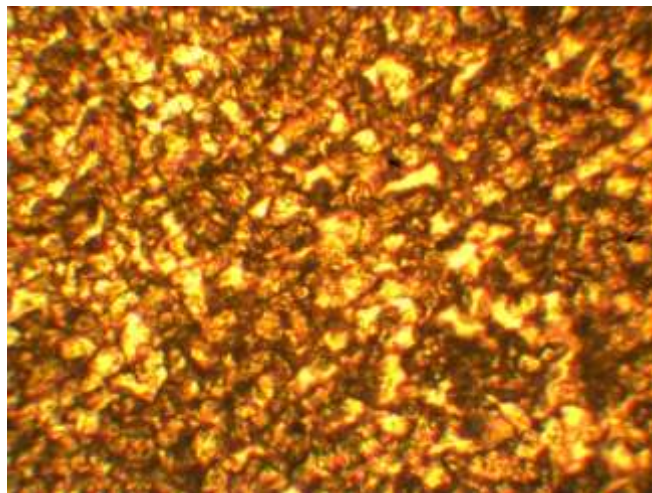
$P\alpha$ = jumlah titik di fasa α

4.6.2.1. Hasil Struktur Mikro Pengelasan SMAW di Darat



Gambar 4.20. Foto mikro Base Metal Pengelasan SMAW di darat

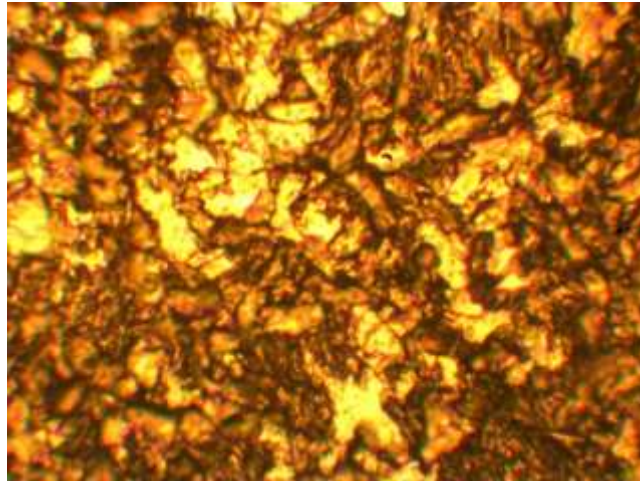
Dari struktur mikro pada gambar 4.19 dapat dilihat struktur mikro untuk daerah base metal terdiri dari fasa *ferit* dan *perlit* dimana bentuknya pipih berwarna terang untuk butir *ferit* dan gelap untuk butir *perlit*. Butir *ferit* cenderung lebih halus sedangkan butir *perlit* lebih kasar. Butir *perlit* cenderung keras sedangkan butir *ferit* cenderung lunak atau ulet. Persentase Struktur mikro *ferit* adalah 75,44% sedangkan struktur mikro *perlit* adalah 24,56%.



Gambar 4.21. Foto mikro HAZ Pengelasan SMAW di darat

Pada daerah HAZ nampak terlihat jelas adanya perubahan ukuran butir *ferit* dan *perlit* yang lebih kecil. Butir *ferit* cenderung lebih halus sedangkan butir *perlit*

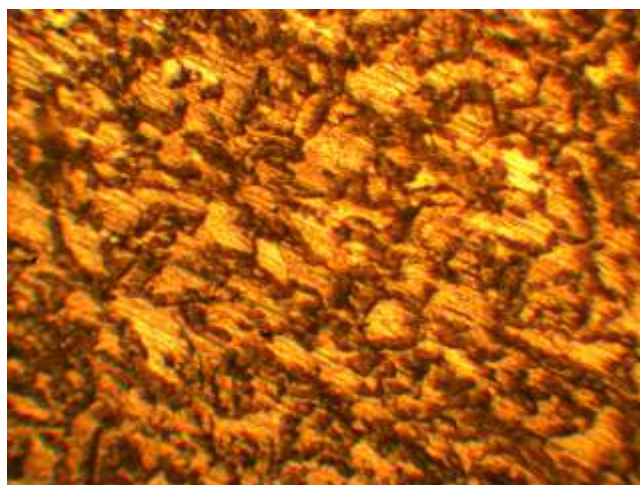
lebih kasar. Butir *perlit* cenderung keras sedangkan butir *ferit* cenderung lunak atau ulet. Persentase Struktur mikro *ferit* adalah 70,11% sedangkan struktur mikro *perlit* adalah 28,89%.



Gambar 4.22. Foto mikro Weld Metal Pengelasan SMAW di darat

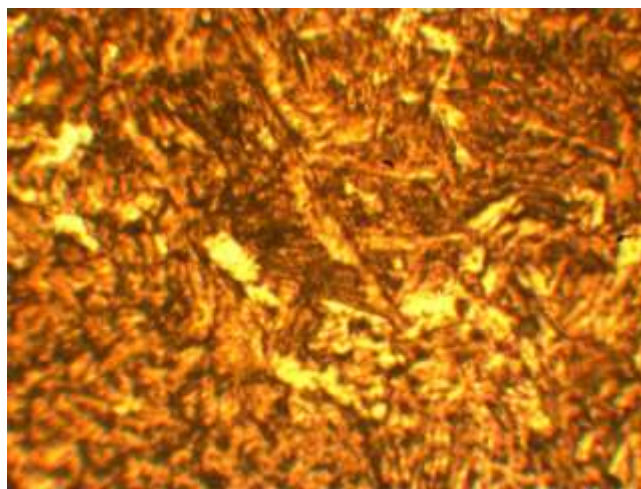
Pada daerah weld metal struktur mikro didominasi oleh butir-butir *ferit* yang berwarna terang, sedangkan butir-butir *perlit* yang berwarna gelap lebih sedikit. Butir *perlit* yang terdapat pada material cenderung keras sedangkan butir *ferit* cenderung lunak atau ulet. Persentase Struktur mikro *ferit* adalah 61,11% sedangkan struktur mikro *perlit* adalah 38,89%.

4.6.2.2. Hasil Struktur Mikro Pengelasan SMAW di Bawah Air



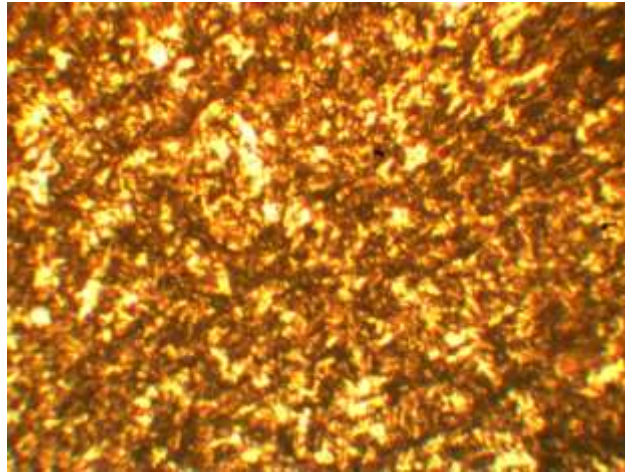
Gambar 4.23. Foto mikro Base Metal Pengelasan SMAW di Bawah Air dengan Salinitas 35 %.

Dari gambar 4.22 struktur mikro dengan perbesaran 400X yaitu pada spesimen-spesimen yang di las pada media bawah air tampak pada daerah *base metal* terdapat kristalisasi antara *ferit* dan *perlit*. Daerah base metal tidak terlalu banyak mengalami perubahan struktur, karena pada daerah tersebut tidak terkena pengaruh panas. Butir *perlit berwarna gelap* yang terdapat pada material. Pada base metal, persentase Struktur mikro *ferit* adalah 74,89% sedangkan struktur mikro *perlit* adalah 25,11%.



Gambar 4.24. Foto mikro HAZ Pengelasan SMAW di Bawah Air dengan Salinitas 35 ‰.

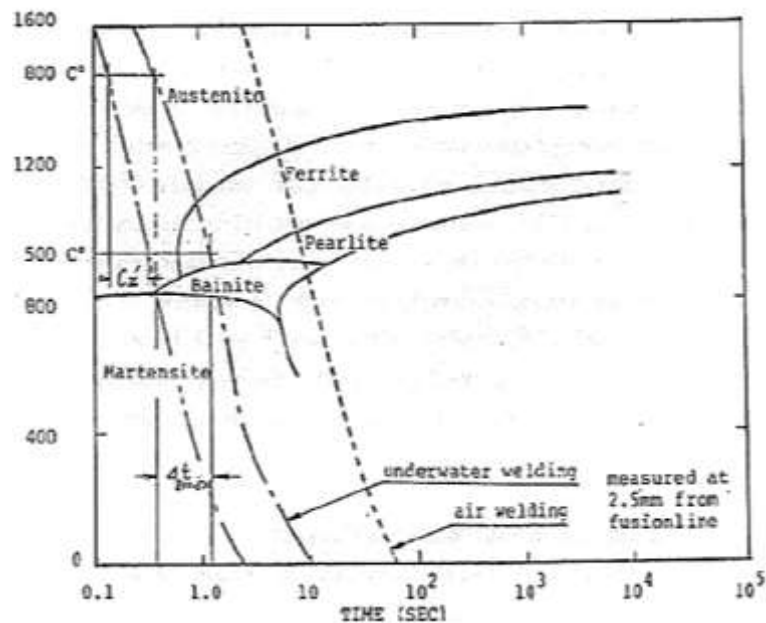
Pada daerah HAZ *martensit* lebih mudah terbentuk karena ada transformasi ukuran butir dari fasa austenit ke ferit, pada transformasi ini terjadi suatu proses penumbuhan butir yang dipengaruhi oleh waktu. Karena laju pendinginan yang sangat cepat akibat media pengelasan berupa air, maka atom karbon tersebut terperangkap dalam larutan sehingga terbentuk fasa *martensit*. Terlihat pada daerah HAZ fasa *martensit* terbentuk pipih seperti jarum. Pada daerah HAZ juga terdapat fasa *ferit* dan *perlit* namun persentasinya tidak lebih banyak dari fasa *martensit*. Fasa *martensit* ini yang menyebabkan material bersifat getas dan keras. Persentase Struktur mikro pada daerah HAZ yaitu *ferit* sebesar 18,22%, *perlit* sebesar 35,67%, dan *martensit* sebesar 46,11% .



Gambar 4.25. Foto mikro Weld Metal Pengelasan SMAW di Bawah Air dengan Salinitas 35 %.

Untuk daerah weld metal didominasi butir-butir *perlit* yang berwarna gelap, sedangkan butir-butir *ferit* lebih sedikit (berwarna terang). Butir *ferit* cenderung lebih halus sedangkan butir *perlit* lebih kasar. Butir *perlit* cenderung keras sedangkan butir *ferit* cenderung lunak atau ulet. Pada weld metal, persentase Struktur mikro *ferit* adalah 48,9% sedangkan struktur mikro *perlit* adalah 51,1%.

Formasi dari struktur mikro yang terbentuk pada pengelasan di bawah air terutama pada daerah HAZ bergantung pada komposisi kimia yang ada pada *base metal* dan *weld metal*, temperatur air dan lama pendinginan.



Gambar 4.26. Diagram CCT (Omajene, 2014)


Pada gambar 4.26 diagram CCT (*Continuous Cooling Transformation*) menunjukkan tahap – tahap transformasi selama pendinginan dari setiap jenis struktur mikro yang berhubungan dengan suhu pendinginan. Pada pengelasan di bawah air dengan suhu air dan laju pendinginan yang cepat akan membentuk fasa martensit pada daerah HAZ. Hal ini dapat terjadi karena pada daerah *weld metal* terjadi perubahan fasa dari austenit ke ferit dan perlit sedangkan pada daerah HAZ terjadi perubahan fasa austenit ke martensit. Pada perubahan fasa di daerah *weld metal*, hidrogen berpindah menuju daerah HAZ karena pada daerah *weld metal* fasa austenit tidak dapat menyerap hidrogen dan hidrogen terlarut dalam fasa ferit. Pada daerah *base metal* tidak banyak terjadi perubahan fasa karena pada daerah ini kandungan karbon lebih tinggi dari daerah *weld metal* dan tidak terimbas panas. Pada daerah HAZ perubahan austenit ke martensit terjadi setelah perubahan fasa austenit ke ferit dan perlit di daerah *weld metal*. Terbentuknya fasa martensit akan menyebabkan terjadinya cacat retak hidrogen karena suhu yang rendah dan laju pendinginan yang cepat dengan media air disekitarnya merupakan faktor utama dalam pembentukan fasa martensit akibat adanya hidrogen dari dekomposisi air.

LAMPIRAN

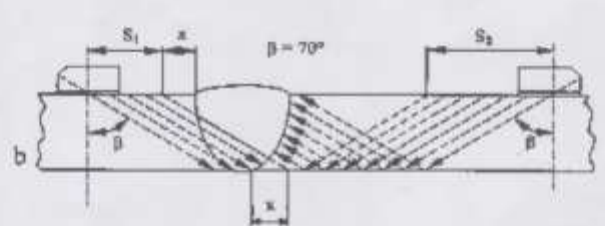

1. Pemotongan Spesimen



2. Hasil Pengujian Ultrasonik

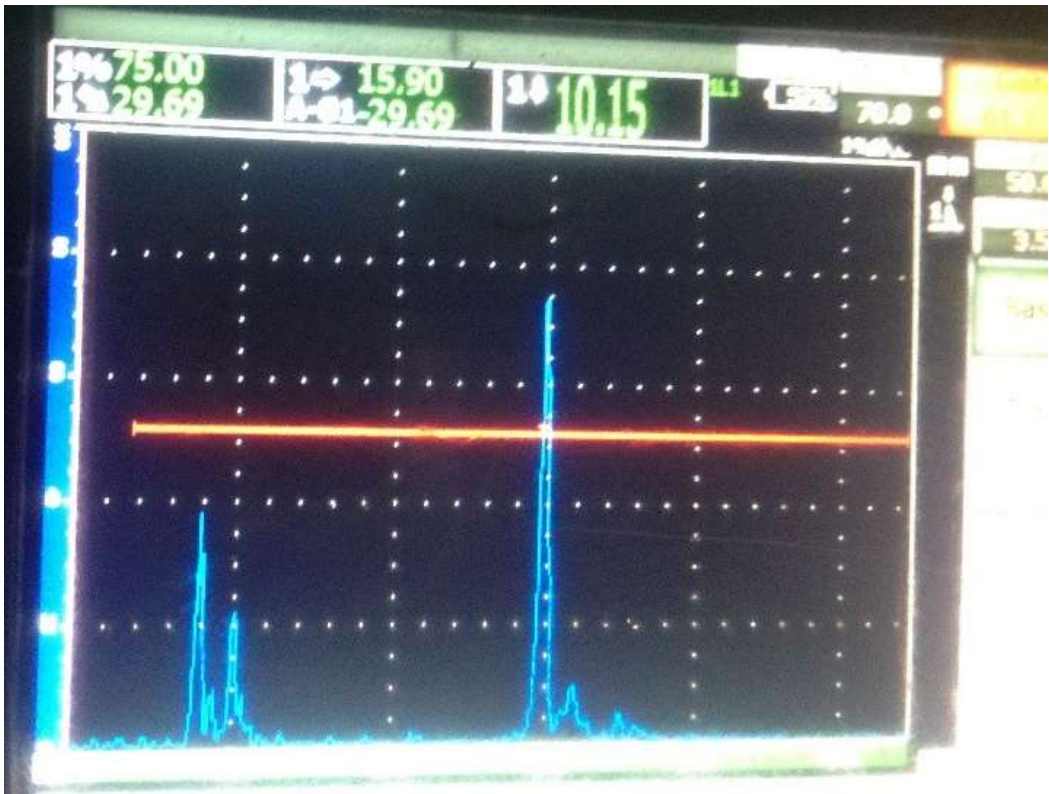


ULTRASONIC TEST REPORT


Customer : ITS JURUSAN PERKAPALAN			Drawing No. : -			Report No : 001-UT/RBT-ITS/IV/16																																																									
Unit Name : Conventional and Underwater Welding			Procedures No. : RBT - P - 01			Ref. No :																																																									
Project :			Applicable Code : ASME Sec. VIII Div			NCR Ref No :																																																									
Material Spec. : SA36			Welding Process :-			Surface condition : AS WELDING																																																									
UT INSTRUMENT		Cable Type & Length	Couplant	EXAMINATION TECHNIQUE																																																											
Model	Serial No	LEMO	OIL	<input checked="" type="checkbox"/> Contact	<input type="checkbox"/> Immersion	<input type="checkbox"/> Straight beam	<input checked="" type="checkbox"/> Angle beam																																																								
EPOCH 1000	130190901	1000 mm																																																													
CALIBRATION																																																															
Search Unit			Block ID			Data		Gain Setting	Test Range																																																						
Angle	Serial No.	Frequency	Size	V1	V2	MCB	Hole Ø	Amplitude	Distance Reading	Reference Level	Scanning Unit	Test Range																																																			
70°	4788	4 MHz	12 mm	V				80%	1.00	30	30	30																																																			
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Part/Weld No</th> <th rowspan="2">Thickness (mm)/inch</th> <th colspan="4">Indication</th> <th colspan="2">Result</th> <th rowspan="2">Remark</th> </tr> <tr> <th>Sound Path</th> <th>Amplitude</th> <th>Length</th> <th>Height</th> <th>Acc</th> <th>Rep</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Conventional</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Welding</td> <td>10</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>Acc.</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Underwater</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Welding</td> <td>30</td> <td>XL3</td> <td>80% FSH</td> <td>40</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>Rep.</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>													Part/Weld No	Thickness (mm)/inch	Indication				Result		Remark	Sound Path	Amplitude	Length	Height	Acc	Rep	Conventional									Welding	10	-	-	-	-	Acc.			Underwater									Welding	30	XL3	80% FSH	40	-	-	Rep.	
Part/Weld No	Thickness (mm)/inch	Indication				Result		Remark																																																							
		Sound Path	Amplitude	Length	Height	Acc	Rep																																																								
Conventional																																																															
Welding	10	-	-	-	-	Acc.																																																									
Underwater																																																															
Welding	30	XL3	80% FSH	40	-	-	Rep.																																																								
Sketch (identify discontinuities listed above) if necessary :																																																															
																																																															
Examined by:			Customer			Authorized Inspector																																																									
 Tedy Dimas Garuda www.robutech.com																																																															
Date : March 19, 2019			Date :			Date :																																																									
Time: NDE Level : II			Date :			Date :																																																									

3. Grafik Transmisi Pengujian Ultrasonik





4. Hasil Pengujian *Root Bend* Pengelasan di Darat



ITS
Institut Teknologi
Sepuluh Nopember

LABORATORIUM KONSTRUKSI DAN KEKUATAN KAPAL
JURUSAN TEKNIK PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
 Gedung W - Lantai 1, Kampus ITS Sukolo, Surabaya 60111
 Telp./Fax. 031 589 4933

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

DATE : 1 JUNI 2016

ORDER FROM : TUGAS AKHIR SAFIRA

TEST STANDARD : ASME IX

MATERIAL SPECS. : ASTM A26, T = 10 mm / SMAW / 1G / RACHMAD
 FILLER : E6013 / D : 2,6 mm

PROJECT :

1. TENSION TEST										
NO	CODE MATERIAL	SPECIFICATION SAMPLE				TENSILE TEST RESULTS				REMARK
		WIDTH	THICK	DIA.	C S A	YIELD STRESS	ULTIMATE STRESS	ELONGATION	REDUCT. of AREA	
		(mm)	(mm)	(mm)	(mm ²)	(MPa)	(MPa)	(%)	(%)	
NO	F. YIELD		F. ULTIMATE		Lo	L1	D1/Wd.1	Th.1	A1	
	KN	N	KN	N						

2. BENDING TEST, ANGLE OF BEND : 180° DIAMETER of FORMER : 32 mm

NO	SAMPLE MARK	IDENTIFICATION	WIDTH (mm)	THICK. (mm)	TEST RESULTS	
					OPEN DEFECT (mm)	CRACK (mm)
1	A1	RB 1	38,16	10	2,23 (root)	none
2	A2	RB 2	37,80	10	none	none
3	A3	RB 3	37,61	10	none	none

Witnessed by :


1
2
3
4
5

The Laboratory Of Ships Strength And Construction
 ITS Kelautan ITS



Tester
DIDIK

5. Hasil Pengujian *Face Bend* Pengelasan di Darat



ITS
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

LABORATORIUM KONSTRUKSI DAN KEKUATAN KAPAL
JURUSAN TEKNIK PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
Gedung W - Lantai 1, Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111
Telp./Fax. 031 599 4933

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

DATE : 1 JUNI 2016
 ORDER FROM : TUGAS AKHIR SAFIRA
 TEST STANDARD : ASME IX
 MATERIAL SPECS. : ASTM A36, T = 10 mm / SMAW / 18 / RACHMAD
 FILER : E6013 / D : 2,6 mm

PROJECT :


1. TENSION TEST										
NO	CODE MATERIAL	SPECIFICATION SAMPLE				TENSILE TEST RESULTS				REMARK
		WIDTH	THICK	DIA.	CSA	YIELD STRESS	ULTIMATE STRESS	ELONGATION	REDUCT of AREA	
		(mm)	(mm)	(mm)	(mm ²)	(MPa)	(MPa)	(%)	(%)	
NO	F. YIELD		F. ULTIMATE		Lo	L1	D1 / Wd.1	Th.1	A1	
	KN	N	KN	N						

2. BENDING TEST. ANGLE OF BEND : 180° DIAMETER of FORMER : 32 mm										
NO	SAMPLE MARK	IDENTIFICATION	WIDTH (mm)	THICK (mm)	TEST RESULTS					
					OPEN DEFECT (mm)	CRACK (mm)				
1.	B1	FB 1	37,64	10	2,30	none				
2	B2	FB 4	37,65	10	none	none				
3.	B3	FB 3.	37,63	10	2,91	none				

Witnessed by :


1.	
2.	
3.	
4.	
5.	

The Laboratory Of Ships Strength And Construction
FK Kelautan ITS



Didik

6. Hasil Pengujian *Root Bend* Pengelasan di Bawah Air



ITS
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

LABORATORIUM KONSTRUKSI DAN KEKUATAN KAPAL
JURUSAN TEKNIK PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
 Gedung W - Lantai 1, Kampus ITS-Sukolilo, Surabaya 60111
 Telp./Fak. 031 599 4933

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

DATE : 1 JUNI 2016
 ORDER FROM : TUDAS AKHIR SAFIRA
 TEST STANDARD : AGHE IX
 MATERIAL SPECS. : ASTM A 36, T = 10 mm / SIAW / 18 / RACHMAD
 FILLER : E 6013 / D = 2,6 mm

PROJECT :

1. TENSION TEST										
NO	CODE MATERIAL	SPECIFICATION SAMPLE				TENSILE TEST RESULTS				REMARK
		WIDTH	THICK	DIA.	CSA	YIELD STRESS	ULTIMATE STRESS	ELONGATION	REDUCT. of AREA	
		(mm)	(mm)	(mm)	(mm ²)	(MPa)	(MPa)	(%)	(%)	
NO	F. YIELD		F. ULTIMATE		Lo	L1	D1/Wd.1	Th.1	A1	
	KN	N	KN	N						


(2) BENDING TEST, ANGLE OF BEND : 180° DIAMETER of FORMER : 32 mm

NO	SAMPLE MARK	IDENTIFICATION	WIDTH (mm)	THICK. (mm)	TEST RESULTS	
					OPEN DEFECT (mm)	CRACK (mm)
1	C1	RB1	38,8	10	38,8	
2	C2	RB 2	38,62	10	38,62	
3	C3	RB 3	38,67	10	38,67	

Witnessed by :


1.	
2.	
3.	
4.	
5.	

The Laboratory Of Ships Strength And Construction
Kelautan ITS



Tester
D. Dik

7. Hasil Pengujian *Face Bend* Pengelasan di Bawah Air



ITS
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

LABORATORIUM KONSTRUKSI DAN KEKUATAN KAPAL
JURUSAN TEKNIK PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
 Gedung W - Lantai 1, Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111
 Telp./Fax. 031 599 4933

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

DATE : 1 JUNI 2016
 ORDER FROM : TUGAS AKHIR SAFIRA
 TEST STANDARD : ASME IX
 MATERIAL SPECS. : ASTA A36 , t : 10 mm / SMAW / 15 / RACHMAD
 FILER : B 6013 / D : 2.6 mm

PROJECT :

1. TENSION TEST

NO	CODE MATERIAL	SPECIFICATION SAMPLE				TENSILE TEST RESULTS				REMARK
		WIDTH	THICK	DIA.	C S A	YIELD STRESS	ULTIMATE STRESS	ELONGATION	REDUCT of AREA	
		(mm)	(mm)	(mm)	(mm ²)	(MPa)	(MPa)	(%)	(%)	

NO	F. YIELD		F. ULTIMATE		Lo	L1	D1 / Wd.1	Th.1	A1
	KN	N	KN	N					


2. BENDING TEST, ANGLE OF BEND : 180° DIAMETER of FORMER : 32 mm

NO	SAMPLE MARK	IDENTIFICATION	WIDTH (mm)	THICK. (mm)	TEST RESULTS	
					OPEN DEFECT (mm)	CRACK (mm)
1	D1	FB 1	37,76	10	37,76	
2	D2	FB 2	37,64	10	37,64	
3	D3	FB 3	38,18	10	38,18	

Witnessed by :

1	
2	
3	
4	
5	

The Laboratory Of Ships Strength And Construction
 FT. Kelautan ITS



8. Hasil Pengujian Kekerasan Pengelasan di Darat

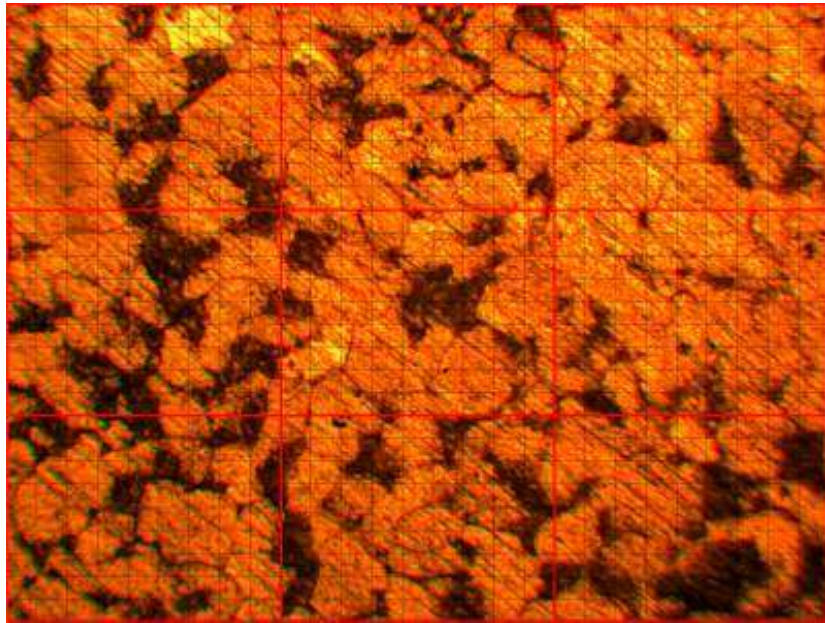
NORMAL ① TOP		NORMAL ② MID		NORMAL ③ BOTTOM	
Pw 5.000N		Pw 5.000N		Pw 5.000N	
01 D1:	185,67	01 D1:	99,32	W 01 D1:	99,67
02:	183,98	02:	181,63	02:	97,75
W 03:	186,3	03:	182,2	03:	256,5
04 D1:	185,87	04 D1:	194,44	04 D1:	91,07
05:	186,75	05:	180,94	05:	187,19
06:	188,25	06:	163,18	06:	178,26
07 D1:	117,08	07 D1:	184,38	07 D1:	104,02
08:	188,63	08:	189,69	08:	99,32
09:	171,1	09:	183,5	09:	170,1
10 D1:	187,37	H 04 D1:	113,75	H 04 D1:	189,98
11:	121,88	02:	117,15	02:	116,19
H 12:	141,8	03:	148,4	03:	154,5
13 D1:	189,38	05 D1:	118,13	H 05 D1:	185,82
14:	127,82	02:	112,38	02:	111,82
15:	143,8	03:	149,2	03:	156,7
16 D1:	187,87	06 D1:	185,98	04 D1:	185,44
17:	128,32	02:	119,63	02:	189,78
18:	135,1	03:	148,6	03:	148,5
07 D1:	188,55	B 07 D1:	189,44	07 D1:	114,88
02:	186,75	02:	114,69	02:	114,19
19:	168,1	03:	147,7	03:	142,4
B 08 D1:	110,57	08 D1:	111,88	B 08 D1:	112,34
02:	112,88	02:	114,34	02:	102,88
10:	130,1	03:	144,3	03:	134,5
09 D1:	182,62	09 D1:	114,44	09 D1:	111,13
02:	136,44	02:	117,83	02:	128,88
10:	125,2	03:	142,6	03:	127,5
11H:	129,5	11H:	148,4	10 D1:	185,82
12H:	164,3	12H:	182,5	02:	116,88
13 H:	146,3	13 H:	152,5	03:	151,4
Date: 2016-05-04		Date: 2016-05-04		11H:	134,3
XXXXXXXXXXXX		XXXXXXXXXXXX		12H:	188,5
				13 H:	157,5
				Date: 2016-05-04	
				XXXXXXXXXXXX	

9. Hasil Pengujian Kekerasan Pengelasan di Bawah Air

U. WATER	① MID	② MID	③ BIRU
01 01:	131,75	97,22	160,04
W 02:	121,67	101,25	156,63
W01:	140,7	109,7	134,8
02 01:	105,13	91,32	93,25
02:	113,59	96,97	97,65
W01:	143,7	103,2	102,6
03 01:	102,89	97,63	106,88
02:	117,42	103,57	104,75
W01:	150,1	103,4	117,6
04 01:	74,44	93,38	99,82
H 02:	85,58	96,15	98,82
W01:	208,2	106,6	113,8
05 01:	63,87	96,35	98,72
02:	91,64	97,89	94,23
W01:	216,6	104,1	116,6
06 01:	98,38	98 02:	91,58
02:	96,63	100,92	97,08
W01:	212,3	104,9	100,8
07 01:	107,34	97 01:	105,87
B 02:	122,17	02:	105,27
W01:	227,8	W01:	162,4
08 01:	216,97	02:	103,44
02:	120,57	W01:	111,52
W01:	182,5	02:	109,1
09 01:	211,07	09 01:	101,63
02:	113,69	02:	126,88
W01:	146,9	W01:	172,1
10 01:	184,32	MIN	123,6
02:	99,87	MAX	206,6
W01:	179,4	A-U	175,7
11 01:	97,88	Date: 2016-05-04	
02:	103,87	*****	
W01:	183,9		
12 01:	98,32		
02:	97,08		
W01:	211,6		
MIN	107,9		
MAX	250,2		
A-U	179,6		
Date: 2016-05-04			

10. Hasil Perhitungan Persentasi Struktur Mikro Pengelasan di Darat

- Daerah *Base Metal*



Part	Line	Ferrite	Perlite	Total F/100	Total P/100
A	1	8	2	0.74	0.26
	2	8	2		
	3	8	2		
	4	6	4		
	5	7	3		
	6	9	1		
	7	8	2		
	8	8	2		
	9	6	4		
	10	6	4		
Part	Line	Ferrite	Perlite	Total F/100	Total P/100
B	1	6	4	0.68	0.32
	2	9	1		
	3	7	3		
	4	9	1		
	5	7	3		
	6	5	5		
	7	6	4		
	8	6	4		
	9	6	4		
	10	7	3		

Part	Line	Ferrite	Perlite	Total F/100	Total P/100
D	1	7	3	0.78	0.22
	2	6	4		
	3	9	1		
	4	8	2		
	5	7	3		
	6	6	4		
	7	10	0		
	8	9	1		
	9	8	2		
	10	8	2		
Part	Line	Ferrite	Perlite	Total F/100	Total P/100
E	1	8	2	0.77	0.23
	2	8	2		
	3	7	3		
	4	7	3		
	5	6	4		
	6	8	2		
	7	8	2		
	8	9	1		
	9	10	0		
	10	6	4		

Part	Line	Ferrite	Perlite	Total F/100	Total P/100
C	1	7	3	0.75	0.25
	2	4	6		
	3	7	3		
	4	6	4		
	5	9	1		
	6	9	1		
	7	7	3		
	8	10	0		
	9	8	2		
	10	8	2		

Part	Line	Ferrite	Perlite	Total F/100	Total P/100
F	1	6	4	0.73	0.27
	2	8	2		
	3	6	4		
	4	8	2		
	5	7	3		
	6	8	2		
	7	7	3		
	8	7	3		
	9	7	3		
	10	9	1		

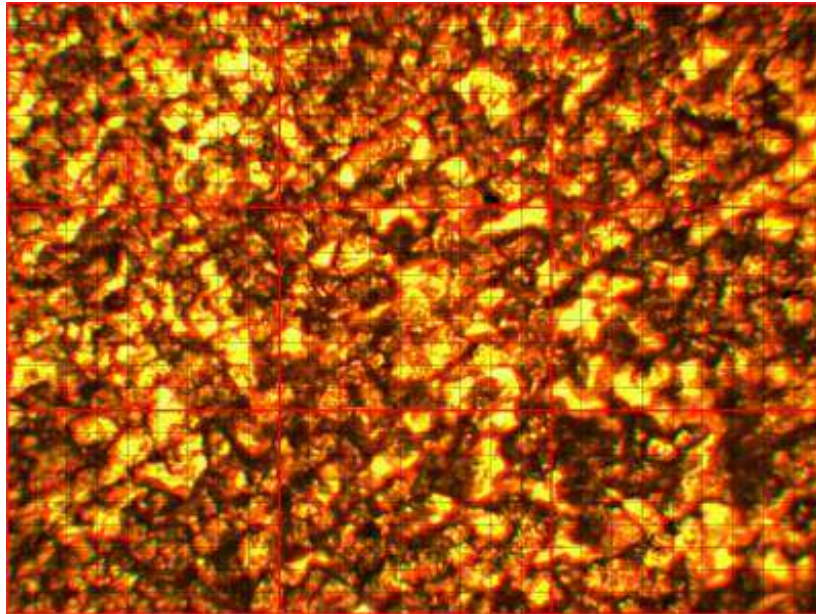
Part	Line	Ferrite	Perlite	Total F/100	Total P/100
G	1	9	1	0.86	0.14
	2	9	1		
	3	8	2		
	4	10	0		
	5	9	1		
	6	8	2		
	7	8	2		
	8	8	2		
	9	8	2		
	10	9	1		

Part	Line	Ferrite	Perlite	Total F/100	Total P/100
I	1	8	2	0.64	0.36
	2	8	2		
	3	6	4		
	4	5	5		
	5	6	4		
	6	8	2		
	7	8	2		
	8	3	7		
	9	5	5		
	10	7	3		

Part	Line	Ferrite	Perlite	Total F/100	Total P/100
H	1	9	1	0.84	0.16
	2	9	1		
	3	8	2		
	4	8	2		
	5	10	0		
	6	10	0		
	7	9	1		
	8	9	1		
	9	5	5		
	10	7	3		

	Ferrite	Perlite
Average	0.754	0.245
Percentage	75.44	24.55

- Daerah HAZ



Part	Line	Ferrite	Perlite	Total F/100	Total P/100
A	1	8	2	0.78	0.22
	2	5	5		
	3	7	3		
	4	8	2		
	5	9	1		
	6	8	2		
	7	7	3		
	8	9	1		
	9	10	0		
	10	7	3		

Part	Line	Ferrite	Perlite	Total F/100	Total P/100
D	1	8	2	0.72	0.28
	2	7	3		
	3	8	2		
	4	6	4		
	5	7	3		
	6	8	2		
	7	7	3		
	8	7	3		
	9	6	4		
	10	8	2		

Part	Line	Ferrite	Perlite	Total F/100	Total P/100
B	1	7	3	0.75	0.25
	2	6	4		
	3	7	3		
	4	8	2		
	5	7	3		
	6	9	1		
	7	7	3		
	8	8	2		
	9	8	2		
	10	8	2		

Part	Line	Ferrite	Perlite	Total F/100	Total P/100
E	1	8	2	0.75	0.25
	2	9	1		
	3	9	1		
	4	7	3		
	5	7	3		
	6	6	4		
	7	8	2		
	8	7	3		
	9	6	4		
	10	8	2		

Part	Line	Ferrite	Perlite	Total F/100	Total P/100
C	1	8	2	0.62	0.38
	2	6	4		
	3	6	4		
	4	7	3		
	5	6	4		
	6	5	5		
	7	7	3		
	8	6	4		
	9	6	4		
	10	5	5		

Part	Line	Ferrite	Perlite	Total F/100	Total P/100
F	1	8	2	0.71	0.29
	2	7	3		
	3	6	4		
	4	7	3		
	5	6	4		
	6	7	3		
	7	7	3		
	8	8	2		
	9	7	3		
	10	8	2		

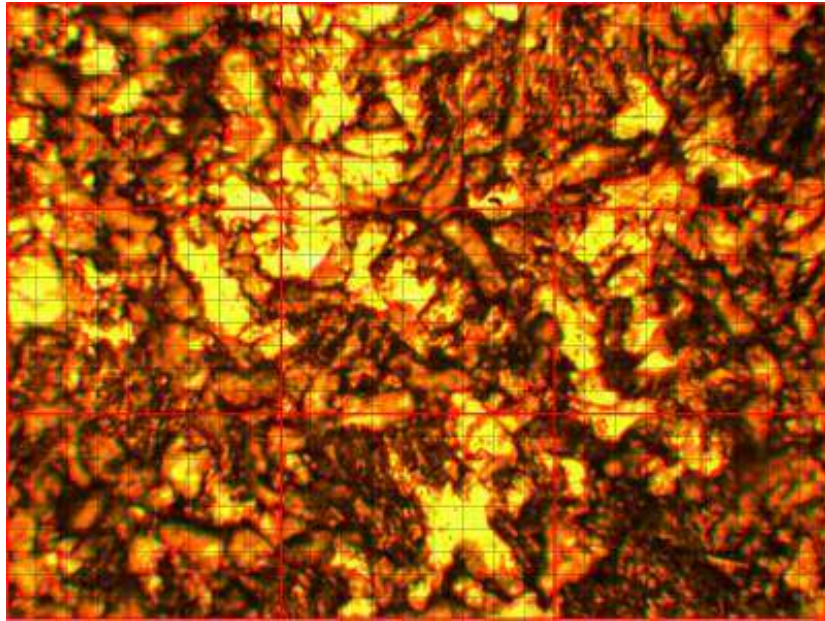
Part	Line	Ferrite	Perlite	Total F/100	Total P/100
G	1	6	4	0.67	0.33
	2	6	4		
	3	7	3		
	4	7	3		
	5	7	3		
	6	7	3		
	7	6	4		
	8	6	4		
	9	8	2		
	10	7	3		

Part	Line	Ferrite	Perlite	Total F/100	Total P/100
I	1	8	2	0.63	0.37
	2	5	5		
	3	6	4		
	4	7	3		
	5	7	3		
	6	8	2		
	7	5	5		
	8	5	5		
	9	5	5		
	10	7	3		

Part	Line	Ferrite	Perlite	Total F/100	Total P/100
H	1	6	4	0.68	0.32
	2	9	1		
	3	8	2		
	4	7	3		
	5	6	4		
	6	7	3		
	7	5	5		
	8	6	4		
	9	6	4		
	10	8	2		

	Ferrite	Perlite
Average	0.70	0.30
Percentage	70.11	29.89

- Daerah Weld Metal



Part	Line	Ferrite	Perlite	Total F/100	Total P/100
A	1	7	3	0.64	0.36
	2	7	3		
	3	6	4		
	4	6	4		
	5	7	3		
	6	5	5		
	7	6	4		
	8	5	5		
	9	6	4		
	10	9	1		

Part	Line	Ferrite	Perlite	Total F/100	Total P/100
D	1	6	4	0.67	0.33
	2	9	1		
	3	9	1		
	4	6	4		
	5	6	4		
	6	7	3		
	7	7	3		
	8	5	5		
	9	6	4		
	10	6	4		

Part	Line	Ferrite	Perlite	Total F/100	Total P/100
B	1	9	1	0.73	0.27
	2	9	1		
	3	9	1		
	4	8	2		
	5	8	2		
	6	8	2		
	7	6	4		
	8	6	4		
	9	4	6		
	10	6	4		

Part	Line	Ferrite	Perlite	Total F/100	Total P/100
E	1	6	4	0.66	0.34
	2	8	2		
	3	6	4		
	4	8	2		
	5	7	3		
	6	7	3		
	7	6	4		
	8	4	6		
	9	6	4		
	10	8	2		

Part	Line	Ferrite	Perlite	Total F/100	Total P/100
C	1	6	4	0.61	0.39
	2	8	2		
	3	4	6		
	4	4	6		
	5	6	4		
	6	6	4		
	7	8	2		
	8	7	3		
	9	7	3		
	10	5	5		

Part	Line	Ferrite	Perlite	Total F/100	Total P/100
F	1	8	2	0.59	0.41
	2	8	2		
	3	4	6		
	4	5	5		
	5	5	5		
	6	6	4		
	7	6	4		
	8	6	4		
	9	2	8		
	10	9	1		

Part	Line	Ferrite	Perlite	Total F/100	Total P/100
G	1	6	4	0.49	0.51
	2	6	4		
	3	5	5		
	4	5	5		
	5	3	7		
	6	5	5		
	7	2	8		
	8	4	6		
	9	6	4		
	10	7	3		

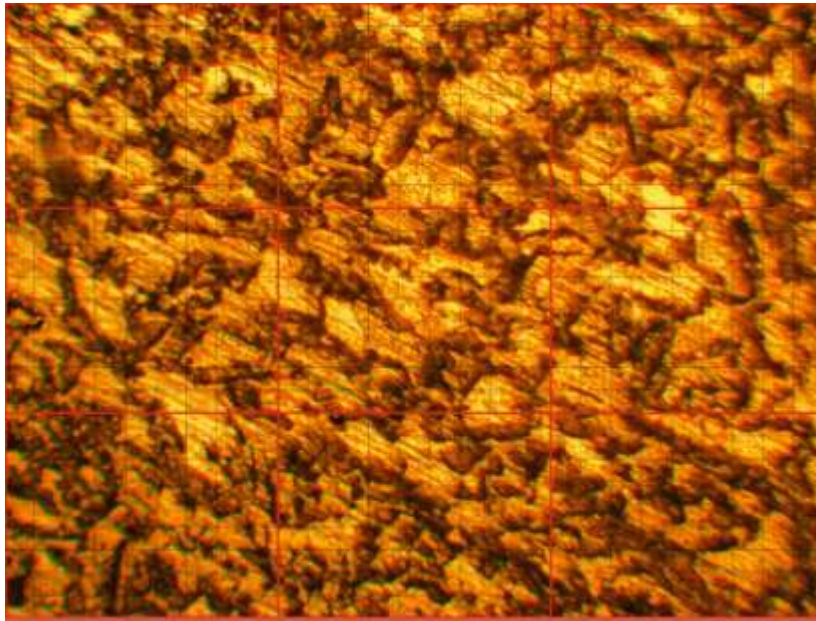
Part	Line	Ferrite	Perlite	Total F/100	Total P/100
I	1	7	3	0.5	0.5
	2	3	7		
	3	7	3		
	4	6	4		
	5	5	5		
	6	6	4		
	7	4	6		
	8	3	7		
	9	4	6		
	10	5	5		

Part	Line	Ferrite	Perlite	Total F/100	Total P/100
H	1	7	3	0.61	0.39
	2	9	1		
	3	7	3		
	4	4	6		
	5	6	4		
	6	4	6		
	7	5	5		
	8	6	4		
	9	6	4		
	10	7	3		

	Ferrite	Perlite
Average	0.61	0.39
Percentage	61.11	38.89

11. Hasil Perhitungan Persentasi Struktur Mikro Pengelasan di Bawah Air

- Daerah Base Metal



Part	Line	Ferrite	Perlite	Total F/100	Total P/100
A	1	8	2	0.67	0.33
	2	3	7		
	3	7	3		
	4	6	4		
	5	5	5		
	6	7	3		
	7	8	2		
	8	9	1		
	9	6	4		
	10	8	2		
Part	Line	Ferrite	Perlite	Total F/100	Total P/100
B	1	8	2	0.75	0.25
	2	8	2		
	3	8	2		
	4	5	5		
	5	7	3		
	6	9	1		
	7	10	0		
	8	6	4		
	9	8	2		
	10	6	4		

Part	Line	Ferrite	Perlite	Total F/100	Total P/100
D	1	8	2	0.74	0.26
	2	8	2		
	3	7	3		
	4	8	2		
	5	8	2		
	6	7	3		
	7	7	3		
	8	6	4		
	9	7	3		
	10	8	2		
Part	Line	Ferrite	Perlite	Total F/100	Total P/100
E	1	8	2	0.73	0.27
	2	6	4		
	3	7	3		
	4	6	4		
	5	9	1		
	6	8	2		
	7	7	3		
	8	6	4		
	9	9	1		
	10	7	3		

Part	Line	Ferrite	Perlite	Total F/100	Total P/100
C	1	6	4	0.64	0.36
	2	5	5		
	3	6	4		
	4	7	3		
	5	6	4		
	6	6	4		
	7	8	2		
	8	9	1		
	9	4	6		
	10	7	3		

Part	Line	Ferrite	Perlite	Total F/100	Total P/100
F	1	7	3	0.77	0.23
	2	6	4		
	3	9	1		
	4	7	3		
	5	9	1		
	6	7	3		
	7	6	4		
	8	9	1		
	9	9	1		
	10	8	2		

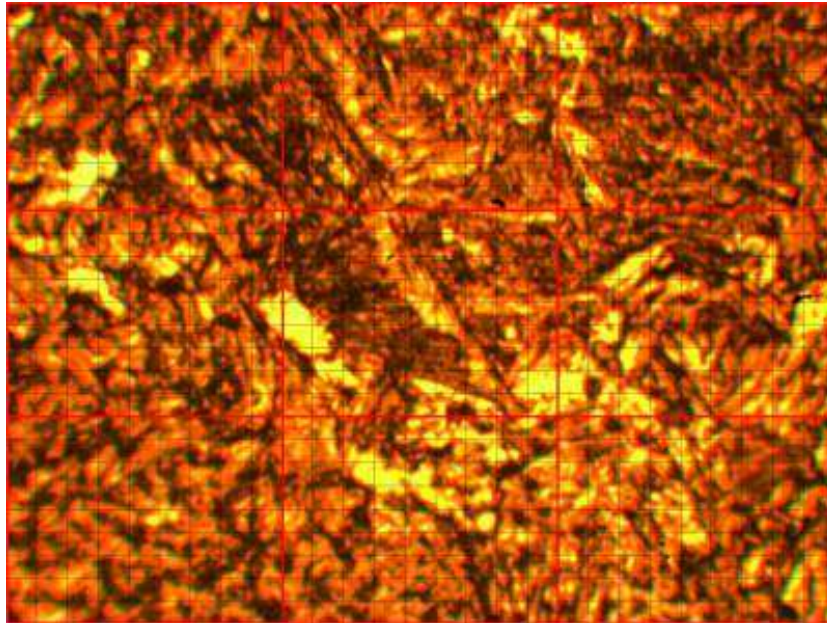
Part	Line	Ferrite	Perlite	Total F/100	Total P/100
G	1	10	0	0.8	0.2
	2	9	1		
	3	7	3		
	4	8	2		
	5	9	1		
	6	7	3		
	7	6	4		
	8	6	4		
	9	9	1		
	10	9	1		

Part	Line	Ferrite	Perlite	Total F/100	Total P/100
I	1	10	0	0.78	0.22
	2	7	3		
	3	7	3		
	4	7	3		
	5	8	2		
	6	7	3		
	7	8	2		
	8	9	1		
	9	8	2		
	10	7	3		

Part	Line	Ferrite	Perlite	Total F/100	Total P/100
H	1	9	1	0.86	0.14
	2	8	2		
	3	9	1		
	4	9	1		
	5	6	4		
	6	9	1		
	7	8	2		
	8	9	1		
	9	9	1		
	10	10	0		

	Ferrite	Perlite
Average	0.75	0.25
Percentage	74.89	25.11

- Daerah HAZ



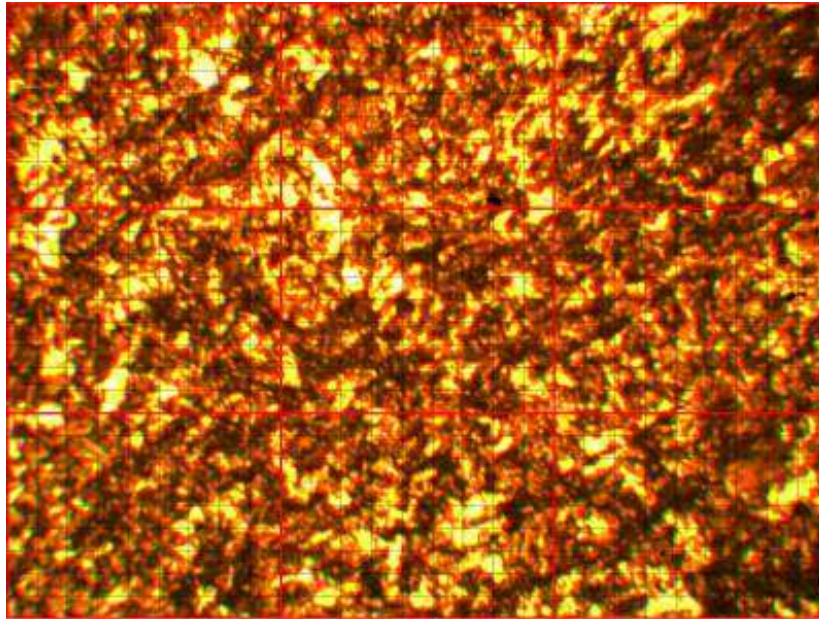
Part	Line	Ferrite	Perlite	Martensit	Total F/100	Total P/100	Total M/100
A	1	3	7	0	0.37	0.52	0.11
	2	2	8	0			
	3	8	2	0			
	4	8	2	0			
	5	3	7	0			
	6	7	2	1			
	7	2	7	1			
	8	2	5	3			
	9	2	7	1			
	10	0	5	5			
Part	Line	Ferrite	Perlite	Martensit	Total F/100	Total P/100	Total M/100
B	1	0	5	5	0.22	0.38	0.4
	2	2	3	5			
	3	1	5	4			
	4	1	4	5			
	5	3	3	4			
	6	2	2	6			
	7	2	5	3			
	8	3	5	2			
	9	1	3	6			
	10	7	3	0			
Part	Line	Ferrite	Perlite	Martensit	Total F/100	Total P/100	Total M/100

C	1	7	3	0	0.6	0.4	0
	2	4	6	0			
	3	6	4	0			
	4	7	3	0			
	5	5	5	0			
	6	6	4	0			
	7	8	2	0			
	8	7	3	0			
	9	5	5	0			
	10	5	5	0			
Part	Line	Ferrite	Perlite	Martensit	Total F/100	Total P/100	Total M/100
D	1	1	4	5	0.03	0.28	0.69
	2	0	3	7			
	3	0	2	8			
	4	1	2	7			
	5	0	3	7			
	6	0	3	7			
	7	0	3	7			
	8	0	3	7			
	9	0	3	7			
	10	1	2	7			
Part	Line	Ferrite	Perlite	Martensit	Total F/100	Total P/100	Total M/100
E	1	1	2	7	0.03	0.32	0.65
	2	1	4	5			
	3	1	4	5			
	4	0	4	6			
	5	0	3	7			
	6	0	2	8			
	7	0	5	5			
	8	0	3	7			
	9	0	2	8			
	10	0	3	7			
Part	Line	Ferrite	Perlite	Martensit	Total F/100	Total P/100	Total M/100
F	1	0	3	7	0	0.25	0.75
	2	0	1	9			
	3	0	2	8			
	4	0	2	8			
	5	0	3	7			
	6	0	4	6			
	7	0	3	7			

	8	0	1	9			
	9	0	3	7			
	10	0	3	7			
Part	Line	Ferrite	Perlite	Martensit	Total F/100	Total P/100	Total M/100
G	1	4	6	0	0.34	0.47	0.19
	2	3	5	2			
	3	4	6	0			
	4	2	5	3			
	5	2	4	4			
	6	5	3	2			
	7	6	2	2			
	8	2	7	1			
	9	4	4	2			
	10	2	5	3			
Part	Line	Ferrite	Perlite	Martensit	Total F/100	Total P/100	Total M/100
H	1	2	5	3	0.05	0.4	0.55
	2	2	6	2			
	3	1	6	3			
	4	0	4	6			
	5	0	1	9			
	6	0	7	3			
	7	0	3	7			
	8	0	3	7			
	9	0	3	7			
	10	0	2	8			
Part	Line	Ferrite	Perlite	Martensit	Total F/100	Total P/100	Total M/100
I	1	0	2	8	0	0.19	0.81
	2	0	1	9			
	3	0	0	10			
	4	0	2	8			
	5	0	1	9			
	6	0	3	7			
	7	0	3	7			
	8	0	2	8			
	9	0	2	8			
	10	0	3	7			

	Ferrite	Perlite	Martensit
Average	0.18	0.36	0.46
Percentage	18.22	35.67	46.11

- Daerah Weld Metal



Part	Line	Ferrite	Perlite	Total F/100	Total P/100
A	1	8	2	0.67	0.33
	2	6	4		
	3	7	3		
	4	7	3		
	5	6	4		
	6	4	6		
	7	6	4		
	8	8	2		
	9	8	2		
	10	7	3		

Part	Line	Ferrite	Perlite	Total F/100	Total P/100
D	1	4	5	0.57	0.42
	2	5	5		
	3	5	5		
	4	5	5		
	5	6	4		
	6	6	4		
	7	6	4		
	8	7	3		
	9	6	4		
	10	7	3		

Part	Line	Ferrite	Perlite	Total F/100	Total P/100
B	1	7	3	0.42	0.58
	2	5	5		
	3	3	7		
	4	5	5		
	5	5	5		
	6	1	9		
	7	4	6		
	8	3	7		
	9	3	7		
	10	6	4		

Part	Line	Ferrite	Perlite	Total F/100	Total P/100
E	1	7	3	0.49	0.51
	2	6	4		
	3	4	6		
	4	4	6		
	5	5	5		
	6	4	6		
	7	5	5		
	8	6	4		
	9	3	7		
	10	5	5		

Part	Line	Ferrite	Perlite	Total F/100	Total P/100
C	1	6	4	0.44	0.56
	2	3	7		
	3	5	5		
	4	5	5		
	5	4	6		
	6	4	6		
	7	4	6		
	8	4	6		
	9	3	7		
	10	6	4		

Part	Line	Ferrite	Perlite	Total F/100	Total P/100
F	1	5	5	0.48	0.52
	2	6	4		
	3	6	4		
	4	2	8		
	5	4	6		
	6	5	5		
	7	5	5		
	8	5	5		
	9	6	4		
	10	4	6		

Part	Line	Ferrite	Perlite	Total F/100	Total P/100
G	1	7	3	0.48	0.52
	2	5	5		
	3	3	7		
	4	3	7		
	5	5	5		
	6	4	6		
	7	4	6		
	8	6	4		
	9	6	4		
	10	5	5		

Part	Line	Ferrite	Perlite	Total F/100	Total P/100
I	1	4	6	0.39	0.61
	2	4	6		
	3	4	6		
	4	3	7		
	5	4	6		
	6	4	6		
	7	5	5		
	8	2	8		
	9	3	7		
	10	6	4		

Part	Line	Ferrite	Perlite	Total F/100	Total P/100
H	1	5	5	0.46	0.54
	2	5	5		
	3	4	6		
	4	4	6		
	5	5	5		
	6	5	5		
	7	6	4		
	8	4	6		
	9	4	6		
	10	4	6		

	Ferrite	Perlite
Average	0.5	0.5
Percentage	48.9	51.0

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Dari penelitian yang telah dilakukan, maka dapat ditarik beberapa kesimpulan yaitu:

1. Hasil pengujian kekerasan menunjukkan bahwa nilai kekerasan untuk pengelasan di bawah air lebih tinggi dibandingkan pengelasan di darat hal ini disebabkan karena semakin rendah suhu pada lingkungan pengelasan maka akan semakin getas atau keras material tersebut. Nilai kekerasan tertinggi pada pengelasan di darat adalah 200,5 HVN sedangkan nilai kekerasan tertinggi pada pengelasan bawah air adalah 290,2 HVN. Hasil pengujian kekerasan tertinggi pada pengelasan bawah air lebih rendah dari persyaratan AWS D3.6M – *Underwater Welding Code*, sehingga nilai kekerasan memenuhi persyaratan standar.
2. Hasil pengujian bending face dan root menunjukkan bahwa pengelasan di darat tidak menghasilkan cacat yang berarti, cacat pada pengelasan di darat masih bisa ditolerir sesuai dengan kriteria yang ada pada ASME Section IX edisi 2015. Sedangkan untuk hasil pengujian bending face dan root pada pengelasan bawah air terdapat cacat sepanjang daerah lasan, hal ini tidak dapat diterima karena ukuran cacat lebih besar dari persyaratan yang ada pada ASME Section IX edisi 2015. Beberapa hal yang dapat menyebabkan cacat pada pengelasan bawah air ini adalah karena besarnya arus yang digunakan dan pandangan welder terganggu sehingga menyebabkan *undercut*. Selain itu, media pengelasan berupa air akan menyebabkan cacat porosity karena pengelasan basah bawah air mengalami kontak langsung dengan air, maka air di sekitar area pengelasan menjadi mendidih dan terionisasi menjadi gas oksigen dan hidrogen. Sebagian gas ini melebur ke area *weld metal* dan HAZ tapi sebagian besar lainnya akan mengalir ke udara.

3. Hasil pengujian metalografi yaitu berupa foto mikro pada pengelasan di darat pada daerah base metal, persentase struktur mikro untuk *ferit* adalah 75,44% dan *perlit* adalah 24,56%. Pada daerah HAZ, persentase struktur mikro untuk *ferit* adalah 70,11% dan *perlit* adalah 28,89%. Pada daerah weld metal, persentase struktur mikro untuk *ferit* adalah 61,11% dan *perlit* adalah 38,89%. Sedangkan untuk hasil foto mikro pada pengelasan di bawah air pada daerah base metal, persentase struktur mikro untuk *ferit* adalah 74,89% dan *perlit* adalah 25,11%. Pada daerah HAZ, persentase struktur mikro untuk *martensit* adalah 46,11%, struktur mikro *ferit* adalah 18,22% dan struktur mikro *perlit* adalah 35,67%. Pada daerah weld metal, persentase struktur mikro untuk *ferit* adalah 48,9% dan struktur mikro *perlit* adalah 51,1%.

5.2. Saran

Berikut merupakan saran-saran yang dapat digunakan guna untuk melanjutkan penelitian ini :

1. Pengelasan sebaiknya dilakukan pre-heating dan post-heating terlebih dahulu untuk menghindari perubahan suhu secara mendadak sehingga pendinginan cepat pada pengelasan bawah air dapat dikurangi.
2. Agar menghasilkan sambungan las yang baik dan memenuhi standar kriteria pengelasan bawah air, perlu menggunakan system las otomatis untuk menghindari faktor kesaalahan manusia (*human error*) yang cukup berpengaruh pada hasil dan kualitas lasan.
3. Pada dasarnya pengelasan bawah air bersifat darurat dan bukan pengelasan terencana, pada penelitian selanjutnya dapat dilakukan perubahan variasi pada pengelasan di bawah air seperti tingkat kadar garam, tekanan air, tebal pelapis dan jenis pelapis serta dapat dilakukan pengujain *radiography* untuk melihat kualitas pengelasan.

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 D1141. 2003. “**Standard Practice for the Preparation of Substitute Ocean Water**”. 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 D3.6M. 2010. “**Underwater Welding Code**” . Florida: American Welding Society.
- AWS section D1.1. 2002. “**Structural Welding Code - Steel**”. Florida: American Welding Society.
- AWS section A5.1. 2004. “**Specification for Carbon Steel Electrodes for Shielded Metal Arc Welding**”. Florida: American Welding Society.
- 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. 167 : 393–401.**
- Giachino, J.W., W. Weeks dan G.S. Johnson. 1973. “**Welding Technology**”. Chicago: American Technical Society.

- Hudayana, Ervan H. 2008. **“Pengaruh Underwater Welding Terhadap Perubahan Sifat Mekanik Weld Joint Material Baja di Lingkungan Laut”**, Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Ilman, N. M. dan J. Wijayanto. 2008.” **Studi Korosi dan Sifat Mekanis Sambungan Las Busur Rendam untuk Konstruksi Baja Melalui Flame Stress Relieving”**. Yogyakarta: Seminar Nasional Aplikasi Sains dan Teknologi.
- Joshi, Amit M. 2002. **“Underwater Welding”**. Bombay: Indian Institut of Technology.
- Kenyon, W. 1985. **“Dasar – Dasar Pengelasan”**. Jakarta: Erlangga.
- Muvidah, U. 2008. **“Pengaruh Jenis Proses Las dan Salinitas Welding di Lingkungan Laut”**. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Omajene, Joshua E. et al., 2014., “Fundamental Difficulties Associated With Underwater Wel Welding”. **Journal of Engineering Reasearch and Applicatuons 4(6):26-31.**
- Pamungkas, F. 2016. **“Analisa Perbandingan Hasil Pengelasan Menggunakan Metode SMAW dan Metode GMAW terhadap Ketahanan Bending pada Sambungan Alumunium Seri 5083”**. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Widharto, S. 2007. **“Inspeksi Teknik Jilid 6”**. Jakarta: Pradnya Paramita.
- Wirjosumarto, H., Toshie Okumora. 1996. **“Teknologi Pengelasan Logam”**. Jakarta: Pradnya Paramita.
- Zakharov, B. 2002. **“Heat Treatment of Metal”**. Moscow: Peace Publisher.

BIODATA PENULIS



Safira Dwi Anggraeni lahir di Jombang, 30 Juli 1994. Anak kedua dari dua bersaudara. Pendidikan formal penulis dimulai dengan menyelesaikan jenjang Pendidikan Dasar di SD Negeri Pulo Lor I Jombang pada tahun 2006 dan SMP Negeri 2 Jombang pada tahun 2009. Kemudian menyelesaikan jenjang Pendidikan Menengah Atas di SMA Negeri 2 Jombang pada tahun 2012. Setelah lulus jenjang Pendidikan Menengah Atas, penulis melanjutkan pendidikan Perguruan Tinggi yang mana penulis diterima di Jurusan Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember di Surabaya. Selama menempuh masa perkuliahan, penulis aktif di organisasi kemahasiswaan dan kepanitiaan, juga dalam berbagai pelatihan, seminar dan kegiatan lainnya. Dalam bidang organisasi kemahasiswaan, penulis pernah mendapatkan amanah sebagai Sekertaris Departemen Dalam Negeri HIMATEKLA FTK ITS periode 2013-2014. Penulis pernah berkesempatan untuk menjalankan kerja praktik selama 2 bulan juga (Juli - Agustus 2015) di Siemens Fabrication Yard, Batam, Kepulauan Riau. Penulis tertarik dengan bidang pengelasan dan ingin mendalaminya, sehingga hal itulah yang mendasari penulis untuk membuat tugas akhir dengan topik pengelasan yang mana tugas akhir penulis berjudul “**Studi Perbandingan Proses Pengelasan SMAW pada Lingkungan Darat dan Bawah Air Terhadap Ketahanan Uji Bending Weld Joint Material A36**”.

Kontak Penulis

Email: safiranggraeni@gmail.com