

22 023 / H / 01



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

Ruske
671.52

Mud
p-1
2008

TUGAS AKHIR - LI1327

PENGARUH UNDERWATER WELDING TERHADAP PERUBAHAN SIFAT MEKANIK WELD JOINT MATERIAL BAJA DI LINGKUNGAN LAUT

ERVAN HARYA HUDAYA
NRP. 4303 100 001

Dosen Pembimbing
Ir. Herman Pratikno, MT
Ir. Jusuf Sutomo, M.Sc

JURUSAN TEKNIK KELAUTAN
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2008

PENGESAHAN	
JRS	
Tgl. Terima	27-4-2008
Terima Dari	H
No. Agenda Prp.	210858



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

FINAL PROJECT - LL1327

THE EFFECT OF UNDERWATER WELDING TOWARD MECHANICAL PROPERTIES CHANGES OF WELD JOINT'S STEEL MATERIAL IN MARINE ENVIRONMENTAL

ERVAN HARYA HUDAYA
REG. 4303 100 001

Supervisor
Ir. Herman Pratikno, MT
Ir. Jusuf Sutomo, M.Sc

OCEAN ENGINEERING DEPARTEMENT
Faculty of Marine Technology
Institute Technology of Sepuluh Nopember
Surabaya 2008

**PENGARUH *UNDERWATER WELDING* TERHADAP
PERUBAHAN SIFAT MEKANIK *WELD JOINT* MATERIAL
BAJA DI LINGKUNGAN LAUT**

TUGAS AKHIR

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

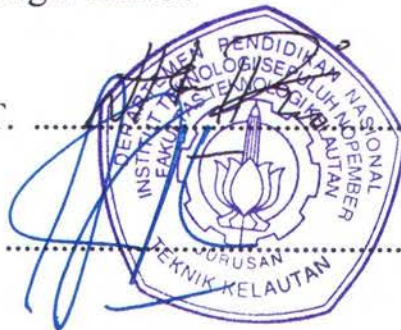
Oleh :

ERVAN HARYA HUDAYA

NRP. 4303 100 001

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir :

1. Ir. Herman Pratikno, M.T. (Pembimbing 1)
2. Ir. Jusuf Sutomo, M. Sc. (Pembimbing 2)



SURABAYA, APRIL 2008

PENGARUH *UNDERWATER WELDING* TERHADAP PERUBAHAN SIFAT MEKANIK *WELD JOINT* MATERIAL BAJA DI LINGKUNGAN LAUT

Nama Mahasiswa : Ervan Harya Hudaya
NRP : 4303 100 001
Jurusan : Teknik Kelautan FTK – ITS
Dosen Pembimbing : Ir. Herman Pratikno, MT
Ir. Jusuf Sutomo, M.Sc

Abstrak

Struktur lepas pantai lambat laun akan mengalami kerusakan. Berbagai metode reparasi bangunan lepas pantai akan membutuhkan reparasi bawah air. Oleh karena itu, pekerjaan las bawah air menjadi hal yang sangat penting. Melalui penelitian ini, dikaji perubahan sifat mekanik pada sambungan las material baja lunak yang di las di lingkungan laut. Dengan parameter las yang sama, juga dilakukan pengelasan di air tawar dan di darat sebagai pembandingan. 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. Melalui pengamatan metalografi struktur makro, pada pengelasan bawah air banyak terlihat adanya *hydrogen embrittlement* akibat proses disosiasi air selama proses pengelasan. Pada pengamatan struktur mikronya, tampak bahwa fase martensit hasil pengelasan di lingkungan laut lebih banyak daripada hasil las di air tawar dan di darat. Nilai kekerasan material yang dilas di lingkungan laut lebih besar dibanding kekerasan material yang di las di air tawar dan di darat, yaitu sebesar $195,37 \text{ (Hv10)} > 181,13 \text{ (Hv10)} > 153,96 \text{ (Hv10)}$. Nilai kekuatan tarik hasil pengelasan di lingkungan laut juga sedikit lebih tinggi dibandingkan dengan kekuatan tarik hasil lasan di air tawar dan di darat, berturut-turut sebesar $49,44 \text{ Kgf/mm}^2 > 49,41 \text{ Kgf/mm}^2 > 48,99 \text{ Kgf/mm}^2$. Akan tetapi, elongasi dan reduksi penampangnya lebih rendah dibandingkan yang lainnya. Semua hal ini menandakan bahwa material baja yang dilas di lingkungan laut sifat mekaniknya bersifat lebih getas daripada material yang di las di air tawar dan darat.

Kata Kunci: las bawah air, sambungan las, sifat mekanik, struktur mikro.

THE EFFECT OF UNDERWATER WELDING TOWARD MECHANICAL PROPERTIES CHANGES OF WELD JOINT'S STEEL MATERIAL IN MARINE ENVIRONMENTAL

Name : Ervan Harya Hudaya
Reg : 4303 100 001
Majority : Ocean Engineering Departement,
Faculty of Marine Technology – ITS
Supervisor : Ir. Herman Pratikno, MT
Ir. Jusuf Sutomo, M.Sc

Abstract

Offshore structures will be getting damaged gradually. A number of methods for offshore structure's repair needs underwater repairs. Thus, underwater welding will become an essential part. By conducting this, mechanical properties changes of weld joint's steel material welded in marine environmental were observed. By using similar welding parameter, material also welded in fresh water and air due to comparison. Underwater welding method used in this research is SMAW wet welding in 1G (flat position) with AWS electrode type 6013 coated with wax. Through macrostructure metallography examination in underwater welding, it was found that there are many of hydrogen embrittlement due to water disassociation during welding process. Through microstructure metallography examination, it was found that martensite phase in specimen welded in marine environmental are more appeared than specimen welded in fresh water and air. Hardness of specimen welded in marine environmental was also greater than in fresh water and air, with comparison of value $195,37 (Hv10) > 181,3 (Hv10) > 153,96 (Hv10)$. Tensile strength of weld joint material welded in marine environment also greater than in fresh water and air with value $49,44 \text{ Kgf/mm}^2 > 49,41 \text{ Kgf/mm}^2 > 48,99 \text{ Kgf/mm}^2$. Otherwise, reduction of area and elongation value of material welded in marine environmental are lower than in fresh water and air. It proves mechanical properties of steel material welded in marine environmental is more brittle than in fresh water and air.

Keywords: underwater welding, weld joint, mechanical properties, microstructure.



KATA PENGANTAR

Puji syukur kami panjatkan kehadirat Allah SWT, *Ar Rahmaan Ar Rahiim*, Pemilik langit dan bumi, Penggenggam setiap urusan makhluk-Nya, Tuhan Yang Menguasai Segalanya. Teriring shalawat dan salam semoga senantiasa terlimpah kepada Rasulullah Muhammad SAW.

Terima kasih kami sampaikan kepada Bapak Murdjito, M.Sc,Eng selaku Ketua Jurusan Teknik Kelautan, Dr. M. Musta'in, M.Sc selaku Sekretaris Jurusan, Ir. Herman Pratikno, MT selaku Dosen Pembimbing I, dan Ir. Jusuf Sutomo, M.Sc selaku Dosen Pembimbing II. Terima kasih kepada seluruh jajaran dosen, karyawan, dan semua pihak yang telah membantu hingga terselesaikannya Tugas Akhir ini.

Tugas Akhir ini mengambil judul “ Pengaruh *Underwater Welding* Terhadap Perubahan Sifat Mekanik *Weld Joint* Material Baja di Lingkungan Laut” yang disusun guna memenuhi persyaratan dalam menyelesaikan Studi Kesarjanaan (S-1) di Jurusan Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan (FTK), Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya (ITS). Fokus penelitian ini adalah mengkaji perubahan sifat mekanik sambungan las material baja yang dilas bawah air (di lingkungan laut) dengan mendapat nilai kekuatan tarik, kekerasan, dan pengamatan struktur logam baja hasil las, baik struktur makro maupun mikronya.

Kami menyadari bahwa penulisan Tugas Akhir ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu, saran dan kritik sangat diharapkan demi perbaikan kedepan. Semoga buah karya ini memberi kemanfaatan bagi penulis dan semua pihak yang memerlukannya.

Surabaya, 28 Maret 2008

Ervan Harya Hudaya

UCAPAN TERIMA KASIH

Dari lubuk hati yang terdalam, teriring penghormatan dari setiap kebaikan, saya ucapkan terima kasih kepada:

Ayahanda H.M. Saleh Ali dan Ibunda Hj. Diah Harnanik, atas setiap munajat doa yang kalian panjatkan untukku, dalam linangan air mata pada sujud-sujud panjangmu, atas segala kasih sayang yang terlimpah hingga saat ini, atas setiap keridhoan kalian padaku yang menjadi pembuka pintu keridhoan-Nya, Ayah,Ibu... Maafkanlah anakmu ini yang belum bisa membahagiakan kalian.

Bapak Ir. Murdjito, M.Sc, Eng. selaku Ketua Jurusan Teknik Kelautan serta seluruh jajaran dosen dan karyawan yang sangat peduli, rela dan ikhlas berjuang demi kepentingan mahasiswa.

Bapak Ir. Herman Pratikno, MT terima kasih atas segala kebaikan bapak terutama kesabaran bapak dalam membimbing saya, dan maafkan atas segala tingkah laku saya yang tidak berkenan di hati bapak. Entah bagaimana saya harus membalas semua kebaikan bapak.

Bapak Ir. Jusuf Sutomo, M.Sc selaku Dosen Pembimbing II, terima kasih atas bimbingan, waktu, dan pemahaman konseptual yang bapak berikan.

Bapak Prof. Ir. P. Indiyono, M.Sc, Ph.D, atas semua diskusi, bantuan, saran serta nasehatnya yang bermanfaat. Bapak sungguh baik; Saya juga mengucapkan terima kasih atas langkah-langkah strategis (*strategic road plan*) yang bapak anjurkan kepada saya. Semoga Allah memberikan kemudahan.

Bapak M. Nurul Misbach, ST selaku Kepala Laboratorium Produksi, Bapak Pardi dan Cak Wawan (karyawan) ; Bapak Doni, ST selaku Kepala Laboratorium Konstruksi dan Kekuatan, Bapak Didik, Bapak Mudjito, dan Bapak Naryo (karyawan); kawan-kawan sesama pengerjaan Tugas Akhir, terima kasih atas segala bantuan teknis yang diberikan.

Teman-teman PeM (Angkatan 2003 Teknik Kelautan), rekan-rekan aktivis penggeliat dunia Unit Kegiatan Mahasiswa (UKM) di ITS, dan macherie, terima kasih atas dukungan moril serta kenangan yang tak terlupakan.

Om Susa sekeluarga di Bekasi, terima kasih atas perhatian, kasih sayang, serta sokongan dana yang sangat membantu dalam kelancaran studi selama ini.

Kepada semua pihak yang telah membantu, yang tidak dapat saya sebut satu per satu, saya ucapkan terima kasih. Semoga semuanya diberkahi. Amien.

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
ABSTRAK.....	iii
KATA PENGANTAR	v
UCAPAN TERIMA KASIH.....	vi
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR LAMPIRAN.....	xii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Perumusan Masalah	1
1.3. Tujuan	2
1.4. Manfaat Penelitian	2
1.5. Batasan Masalah	2
1.6. Sistematika Penulisan	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1. <i>Underwater Welding</i>	5
2.2. <i>SMAW Wet Welding</i>	5
2.3. Elektroda Las AWS E6013	7
2.4. Pelat Baja ASTM A36	8
2.5. Larutan Media Uji (Larutan Pengganti Air Laut)	9
2.6. Parameter Pengelasan	9
2.6.1. Macam-Macam Sambungan Las.....	9
2.6.2. Posisi-Posisi Pengelasan	10
2.6.3. Persiapan Sisi	12
2.6.4. Tegangan Busur	13
2.6.5. Besar Arus Las.....	13

2.6.6.	Kecepatan Pengelasan	13
2.6.7.	Polaritas Listrik.....	13
2.6.8.	Kedalaman Penetrasi	14
2.7.	Sifat Mekanik.....	14
2.8.	Diagram Fase Baja Karbon.....	15
2.9.	Kecepatan Pendinginan	16
2.10.	Uji Tarik.....	17
2.11.	Uji Kekerasan Vickers.....	18
2.12.	Pengamatan Metalografi.....	19
BAB III METODOLOGI PENELITIAN		21
3.1.	Diagram Alir Metodologi Penelitian	21
3.2.	Penjelasan Metodologi Penelitian.....	22
BAB IV ANALISA HASIL DAN PEMBAHASAN		29
4.1.	Analisa Data Rekaman Pengelasan	29
4.2.	Pengamatan Visual Hasil Pengelasan.....	29
4.3.	Pengujian Tarik.....	30
4.3.1.	Pelaksanaan Pengujian Tarik	30
4.3.2.	Hasil Uji Tarik	30
4.3.3.	Pembahasan Uji Tarik.....	35
4.4.	Pengamatan Metalografi.....	36
4.4.1.	Pengamatan Struktur Makro	36
4.4.2.	Pengamatan Struktur Mikro	37
4.5.	Pengujian Kekerasan	41
4.5.1.	Hasil Uji Kekerasan	41
4.5.2.	Pembahasan Uji Kekerasan	43
4.6.	Validasi.....	44
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....		47
5.1.	Kesimpulan.....	47
5.2.	Saran	47
DAFTAR PUSTAKA		
LAMPIRAN		
BIODATA PENULIS		

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. <i>Manual Wet Welding SMAW</i>	5
Gambar 2.2. <i>Underwater Welding Arc</i>	6
Gambar 2.3. Skema Peralatan <i>SMAW Wet Welding</i>	6
Gambar 2.4. Sambungan Dasar Konstruksi Las	10
Gambar 2.5. Posisi Pengelasan pada Sambungan <i>Butt</i>	11
Gambar 2.6. Diagram Posisi Pengelasan untuk <i>Butt Joint</i>	11
Gambar 2.7. Bentuk Persiapan Sisi untuk <i>Butt Joint</i>	12
Gambar 2.8. Variasi Polaritas DCSP, AC, DCRP	13
Gambar 2.9. Korelasi Kekuatan Tarik, Kekerasan , Keuletan, Struktur Mikro.....	15
Gambar 2.10. Diagram Fase Fe- Fe ₃ C	15
Gambar 2.11. Diagram TTT (<i>Time-Temperature-Transformation</i>)	16
Gambar 2.12. Prinsip Uji Kekerasan Vickers	18
Gambar 3.1. Diagram Alir Penelitian	21
Gambar 3.2. Persiapan <i>Butt Joint Single V-Groove</i>	22
Gambar 3.3. Pemasangan Tanggem Las.....	24
Gambar 3.4. Spesimen Uji Tarik	25
Gambar 3.5. Spesimen Metalografi	26
Gambar 3.6. Kamera Mikroskop	27
Gambar 3.7. Titik Pengambilan Foto Mikro	27
Gambar 3.8. Titik Uji Kekerasan	28
Gambar 4.1. Spesimen Uji Tarik Sesuai Standar ASME IX	30
Gambar 4.2. Pelaksanaan Uji Tarik	30
Gambar 4.3. Grafik Perbandingan Nilai Kekuatan Tarik	33
Gambar 4.4. Grafik Perbandingan Elongasi	33
Gambar 4.5. Grafik Perbandingan <i>Reduction of Area</i>	34
Gambar 4.6. Foto Struktur Makro Hasil Las di Darat	36
Gambar 4.7. Foto Struktur Makro Hasil Las di Air Tawar.....	36
Gambar 4.8. Foto Struktur Makro Hasil Las di Lingkungan Laut.....	37

Gambar 4.9. Titik Pengambilan Foto Struktur Mikro	37
Gambar 4.10. Foto Struktur Mikro Hasil Las di Darat.....	38
Gambar 4.11. Foto Struktur Mikro Hasil Las di Air Tawar	39
Gambar 4.12. Foto Struktur Mikro Hasil Las di Lingkungan Laut	40
Gambar 4.13. Daerah Pengujian Kekerasan	41
Gambar 4.14. Grafik Distribusi Kekerasan Hasil Las di Darat	42
Gambar 4.15. Grafik Distribusi Kekerasan Hasil Las di Air Tawar	42
Gambar 4.16. Grafik Distribusi Kekerasan Hasil Las di Lingkungan Laut	42
Gambar 4.17. Perbandingan Nilai Kekerasan Per Daerah Pengelasan.....	43

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1.	Klasifikasi Baja A36.....	8
Tabel 2.2.	Komposisi Kimia Baja ASTM A36.....	8
Tabel 2.3.	Komposisi Kimia Pengganti Air Laut.....	9
Tabel 4.1.	Rekaman Set Parameter dan Catatan Waktu Pengelasan Rata-Rata	29
Tabel 4.2.a.	Hasil Pengujian Tarik 1.....	31
Tabel 4.2.b.	Hasil Pengujian Tarik 2	31
Tabel 4.2.c.	Hasil Pengujian Tarik 3.....	32
Tabel 4.2.d.	Hasil Uji Tarik	32
Tabel 4.3.	Elongasi.....	33
Tabel 4.4.	<i>Reduction of Area</i>	34
Tabel 4.5.	Nilai Kekerasan Rata-Rata.....	43

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN A	Visualisasi Hasil Pengelasan
LAMPIRAN B	Data-Data Penelitian
LAMPIRAN C	Foto Penelitian
LAMPIRAN D	Peralatan Penunjang Penelitian
LAMPIRAN E	Kalibrasi Alat

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Kehadiran konstruksi-konstruksi lasan untuk bangunan *super tanker*, pipa-pipa penyalur gas alam, *pressure vessel*, anjungan minyak lepas pantai dengan persyaratan tinggi mutlak diperlukan. Dengan demikian tuntutan keanekaragaman proses las yang sesuai dengan *standard specification*, baik untuk keperluan konstruksi maupun reparasi harus dipenuhi (Musaikan, 2002).

Pada industri perkapalan (*marine vessel*), kapal secara berkala dibawa ke *dry dock* untuk direparasi. Sedangkan pada struktur lepas pantai (terutama jenis *fixed*) tidak didesain demikian, sehingga kegiatan reparasi harus dilakukan di tengah laut (lokasi yang bersangkutan). Hal ini menyebabkan pekerjaan bawah air menjadi hal yang teramat penting.

Setiyo (2007) dalam Tugas Akhir-nya menyatakan bahwa kekuatan tarik, sambungan las dengan bentuk kampuh las *Single V groove* relatif lebih besar dibandingkan dengan kombinasi *Single V groove* dan *Square groove*. Pengujian tersebut dilakukan pada baja *Mild Steel* ASTM A36 dengan pengelasan SMAW di darat. Melalui Tugas akhir ini akan dilakukan penelitian lanjut tentang sifat *weld joint* material baja *Mild Steel* ASTM A36 dengan kampuh las *Single V groove* yang dilas bawah air dengan metode pengelasan *SMAW wet welding*.

1.2. Perumusan Masalah

1. Bagaimana kekuatan tarik *weld joint* Baja ASTM A36 yang dilas di lingkungan laut dibandingkan dengan pengelasan di air tawar dan darat?
2. Bagaimana *hardness* dari *weld joint* Baja ASTM A36 yang dilas di lingkungan laut dibandingkan dengan pengelasan di air tawar dan darat?
3. Bagaimana hasil pengamatan metalografi *weld joint* Baja ASTM A36 yang dilas di lingkungan laut dibandingkan dengan pengelasan di air tawar dan darat?

1.3. Tujuan

1. Untuk mengetahui kekuatan tarik *weld joint* Baja ASTM A36 yang dilas di lingkungan laut dibandingkan dengan pengelasan di air tawar dan darat.
2. Untuk mengetahui *hardness* dari *weld joint* Baja ASTM A36 yang dilas di lingkungan laut dibandingkan dengan pengelasan di air tawar dan darat.
3. Untuk mengetahui hasil pengamatan metalografi *weld joint* Baja ASTM A36 yang dilas di lingkungan laut, dibandingkan dengan pengelasan di air tawar dan darat.

1.4. Manfaat Penelitian

1. Memberikan masukan/informasi tentang pengaruh *underwater welding* di lingkungan laut terhadap sifat mekanik *weld joint* material baja dengan pengelasan di air tawar dan darat sebagai pembandingan.
2. Menunjang penelitian-penelitian lain lebih lanjut tentang pekerjaan las bawah air yang bermanfaat bagi dunia pendidikan maupun dunia industri kemudian.

1.5. Batasan Masalah

1. Pengelasan dilakukan dengan metode *SMAW (Shielded Metal Arc Welding)*.
2. Material uji adalah pelat baja jenis *Mild Steel* ASTM A36.
3. Pengujian dilakukan untuk satu macam ketebalan (12 mm).
4. Bentuk sambungan las adalah *butt joint*.
5. Pengelasan dilakukan pada posisi datar (*flat*) 1G.
6. Pengelasan dilakukan tanpa adanya *pre heating* dan *post heating*.
7. *Residual stress* yang terjadi pada proses pengelasan diabaikan.
8. Posisi material baja yang dilas ada pada kedalaman 0,2 meter.
9. Pada proses pengelasan SMAW, elektroda yang digunakan adalah jenis AWS E 6013. Untuk kondisi las bawah air diberi pelapis tambahan berupa lilin.
10. Bentuk *bevel* yang digunakan adalah *single V groove*.
11. Pengujian yang dilakukan adalah uji tarik, uji kekerasan, dan pengamatan metalografi.
12. Pengelasan di lingkungan laut dilakukan pada salinitas 35‰, dengan larutan pengganti air laut sesuai standar ASTM D1141-90.

Untuk no.9 dan 10 menurut WPS (*Welding Procedure Specification*) dan WPQ (*Welding Procedure Qualification*).

1.6. Sistematika Penyusunan Laporan

Sistematika penyusunan dan pembahasan laporan Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut :

BAB I PENDAHULUAN

Berisi tentang latar belakang, perumusan masalah, tujuan, manfaat penelitian, batasan masalah, dan sistematika penyusunan laporan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Berisikan dasar teori yang menunjang penelitian, diperoleh dari berbagai sumber, seperti: buku literatur, jurnal, situs internet, dan hasil penelitian sebelumnya.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Membahas langkah-langkah penelitian, mulai dari persiapan material uji hingga pelaksanaan percobaan pengelasan. Hasil pengelasan tersebut dilakukan pengujian pada material hasil las-lasan. Pengujian yang dilakukan adalah uji tarik, uji kekerasan, dan pengamatan struktur baik makro maupun mikro. Dari hasil pengujian tersebut dilakukan analisa data dan pembahasan untuk diambil suatu kesimpulan hasil penelitian.

BAB IV ANALISA HASIL DAN PEMBAHASAN

Berisi tentang kajian tentang data-data hasil penelitian, membahas dan menganalisa data-data sehingga nantinya didapat suatu kesimpulan penelitian.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Berisi tentang kesimpulan dari hasil penelitian dan saran untuk penelitian selanjutnya.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. *Underwater Welding*

Las (*welding*) adalah suatu cara untuk menyambung benda padat dengan jalan mencairkannya melalui pemanasan. Mengingat kegunaannya yang sangat penting dalam sistem penyambungan berbagai benda padat/logam, maka teknologi pengelasan selalu mengalami pembaharuan dan perkembangan (Widharto, 2001).

Secara sederhana, *underwater welding* dapat didefinisikan sebagai suatu proses pengerjaan pengelasan yang dilakukan di bawah (di dalam) lingkungan air. Pada prinsipnya, *underwater welding* ini dapat dilakukan dalam dua kondisi, yaitu: keadaan kering (*dry welding*) dan keadaan basah (*wet welding*). ***Dry welding*** adalah pengelasan bawah air yang dilakukan dalam keadaan yang *hyperbaric*, dimana volume air yang ada dipindahkan dengan menginjeksikan udara dalam suatu *chamber* yang mengontrol tekanan air dan udara. Sedangkan ***wet welding*** adalah pengelasan bawah air yang dilakukan secara langsung tanpa adanya perekayasaan kondisi lingkungan air di sekitar lokasi pengelasan (Feelus, 2000).

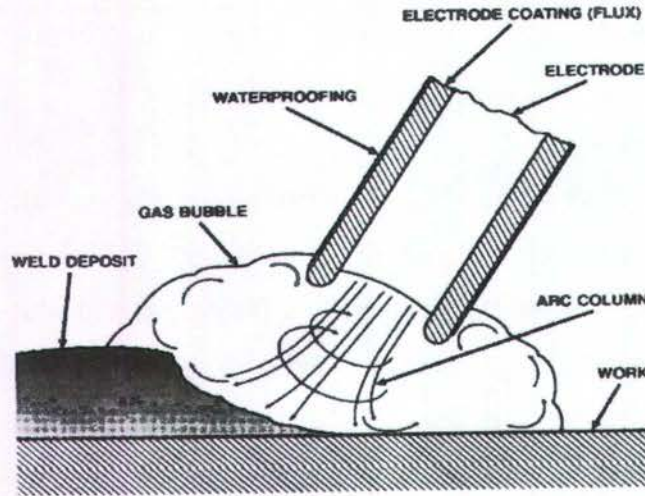
2.2. *SMAW Wet Welding*



Gambar 2.1. *Manual SMAW Wet Welding* (Joshi, 2000)

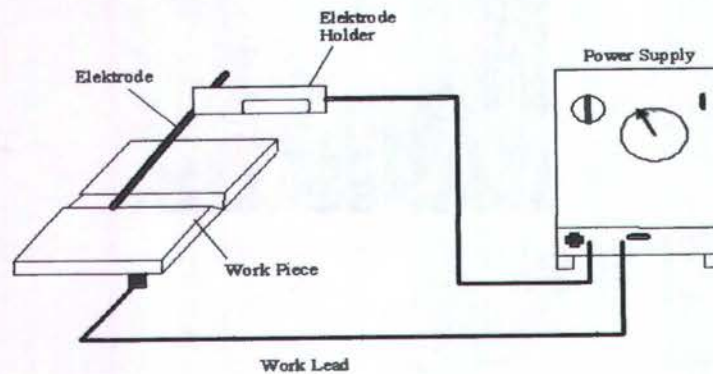
Wet Welding adalah pengelasan bawah air yang dilakukan secara langsung tanpa adanya perekayasaan kondisi lingkungan air di sekitar lokasi pengelasan. Teknik yang sering digunakan dalam *wet welding* ini adalah SMAW (yang juga biasa

disebut sebagai *stick welding*). Elektroda yang biasanya digunakan adalah jenis AWS E-6013 dengan pelapis yang bersifat *waterproof* (Feelus, 2000).



Gambar 2.2. *Underwater Welding Arc* (U.S. Navy, 2002)

Pengelasan dalam air dapat menyebabkan kebebasan gerak meningkat. Hal ini membuat *wet welding* menjadi metode pengelasan yang ekonomis, efektif, dan efisien. 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. Hal ini bertujuan untuk keselamatan (Joshi, 2000).



Gambar 2.3. Skema Peralatan SMAW *Wet Welding* (Joshi, 2000)

Keuntungan SMAW Wet Welding (Joshi, 2000):

Wet Underwater Welding saat ini secara luas telah digunakan untuk reparasi berbagai jenis *offshore platform*. Keuntungan dari SMAW *wet welding* adalah sebagai berikut (Joshi, 2000):

1. Serbaguna dan rendah biaya, menyebabkan metode ini sangat diminati.
2. Keuntungan lainnya adalah kecepatan, dimana pengoperasiannya mudah dipindahkan.
3. Biaya lebih sedikit (lebih murah) dibanding dengan *dry welding*.
4. *Welder* dapat meraih lebih banyak bagian pada *offshore platform* dibandingkan pengelasan dengan metode yang lain.

Kelemahan SMAW Wet Welding (Joshi,2000):

1. *Hydrogen embrittlement* terjadi sebagai bentuk disosiasi air pada daerah penyalan busur. Disamping itu, *wet welding* juga dapat menyebabkan *crack* dan *microscopic fissures* (belahan mikroskopis). *Crack* yang merambat nantinya dapat menyebabkan *catastrophic failure* pada struktur.
2. Kelemahan yang lainnya adalah *poor visibility*. Terkadang *welder* tak mampu mengelas dengan baik.

2.3. Elektroda Las AWS E-6013

Penjelasan standarisasi dari E-6013 adalah sebagai berikut (AWS, 2004):

- E = elektroda las berlapis
- 60 = kekuatan tarik minimumnya sebesar 60.000 Psi
- 1 = untuk posisi pengelasannya *all position*
- 3 = menunjukkan kawat las ini dapat dipakai pada arus bolak-balik (AC) atau arus searah (DC), dan mengandung serbuk besi (*Iron powder*) sebesar 0-10 %.

Walaupun kawat las jenis ini dapat dipakai mengelas untuk semua posisi, namun posisi terbaiknya adalah posisi 1G dan 2G, sedangkan untuk posisi 3G atau 4G, kawat las ini jarang digunakan. Pengelasan dengan E-6013 mudah dikendalikan serta bentuk kampuh las baik, walaupun arus las tinggi. Hasil pengelasannya

mempunyai rigi-rigi las yang cembung (*convex*) dan jarang menimbulkan percikan (*spatter*). Dalam pengelasan kampuh-kampuh yang curam dan bentuk yang tidak beraturan, pemakaian kawat las ini memberikan hasil yang baik. Kawat las ini dapat dipakai dengan baik pada baja paduan rendah (Giachino, 1976).

Terak (*slag*) yang terjadi setelah proses las cukup tebal dan mudah dibersihkan, terak ini mengandung sedikit serbuk besi (*Iron powder slag*) dan dapat menutup dengan baik pada lasan. Bahan pelapis yang dipakai adalah *rutile* yang terdiri dari *High Titania Sodium* dan juga mengandung *Titanium* (>35%), dan ditambah dengan unsur lain seperti *Cellulose*, *Ferro manganesse*, *Natrium Silikat*. Karena elemen campuran *flux*-nya tidak banyak, maka kawat las ini memberikan keuntungan yaitu tidak adanya retak pada lasan atau pada daerah HAZ (AWS, 2004).

2.4. Pelat Baja ASTM A36

Baja ASTM A36 adalah jenis baja *Mild Steel* yang biasanya digunakan sebagai *structural steel plates*.

Tabel 2.1. Klasifikasi Baja A36

IDENTIFIKASI ASTM	Teg. Leleh min (F_y min)		Kekuatan Tarik (F_u)		Ketebalan Max. Untuk Pelat (inch)
	Ksi	MPa	Ksi	Mpa	
A 36	32	220	58-80	400-550	Lebih dari 8
A 36	36	250	58-80	400-550	Sampai 8

Sumber : ASTM A36, 2003.

Tabel 2.2 : Komposisi Kimia Baja ASTM A36

ASTM A36- Structural steel plates	Ladle Analysis (%)								
	C	Mn	Si	Nb/Cb	V	Ni	Cr	Mo	Cu
To 19 mm	<0.25	0.80/1.20	-	-	-	-	-	-	-
Over 19 to 38 incl.	<0.25	0.80/1.20	-	-	-	-	-	-	-
Over 38 to 64 incl.	<0.26	0.80/1.20	-	-	-	-	-	-	-
Over 64 to 102 incl.	<0.27	0.85/1.20	-	-	-	-	-	-	-
Over 102 mm	<0.29	0.85/1.20	-	-	-	-	-	-	-

Sumber : AWRA, 1982

2.5. Larutan Media Uji (Pengganti Air Laut)

Media pengujian menggunakan larutan pengganti air laut sesuai standar ASTM D1141-90 "Standard Specification for Substitute Ocean Water"

Tabel 2.3. Komposisi Kimia Pengganti Air Laut ^{A,B}

Larutan	Konsentrasi, g/L
NaCl	24.53
MgCl ₂	5.20
Na ₂ SO ₄	4.09
CaCl ₂	1.16
KCl	0.695
NaHCO ₃	0.201
KBr	0.101
H ₃ BO ₃	0.027
SrCl ₂	0.025
NaF	0.003
Ba (NO ₃) ₂	0.0000994
Mn (NO ₃) ₂	0.0000340
Cu (NO ₃) ₂	0.0000308
Zn (NO ₃) ₂	0.0000096
Pb (NO ₃) ₂	0.0000066
AgNO ₃	0.00000049

Sumber : ASTM, 2003.

Keterangan:

^A Klorinitas = 19.38

^B pH (setelah disesuaikan dengan 0.1 N Sodium Hydroxide)= 8.2

Tabel di atas adalah pada kondisi salinitas 35 (35‰).

2.6. Parameter Pengelasan

2.6.1. Macam-Macam Sambungan Las

a. Butt joint

Butt joint atau sambungan tumpul adalah jenis sambungan yang diketahui cukup efisien. Pada sambungan ini, dua bagian benda kerja yang akan disambung berada pada posisi satu bidang yang sama.

b. Corner joint

Pada sambungan ini, dua bagian benda kerja yang hendak disambung terletak pada dua bidang yang saling membentuk sudut.

c. *Fillet joint* atau *T-joint*

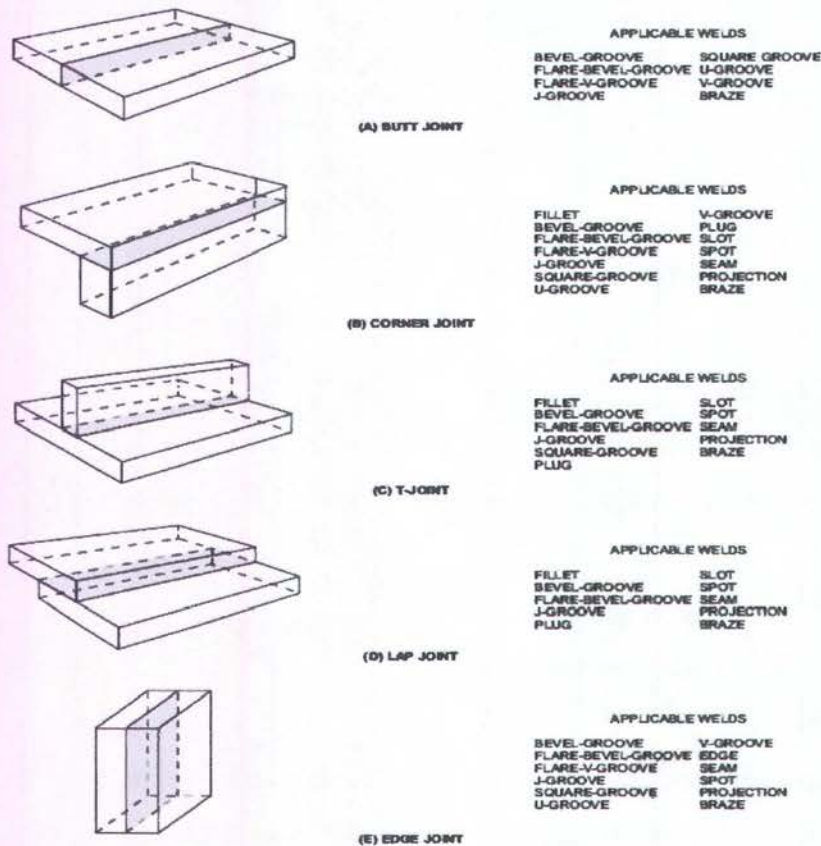
Sambungan dua benda kerja dimana benda yang hendak disambung saling membentuk sudut 90°.

d. *Lap joint*

Sambungan dua benda kerja dimana benda kerja tersebut saling menumpang antara satu dengan lainnya. Karena sambungan ini efisiensinya rendah, maka jarang sekali digunakan untuk penyambungan konstruksi utama.

e. *Edge joint*

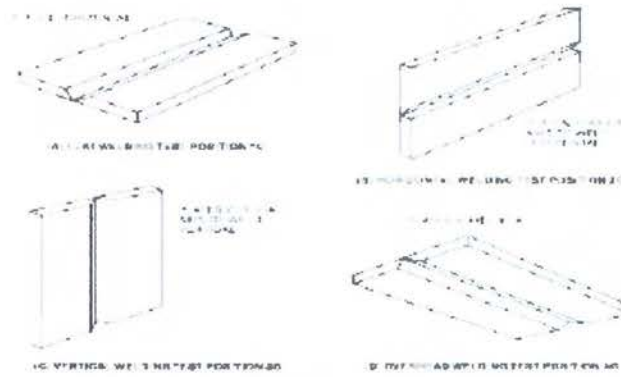
Sambungan dua benda kerja yang saling dihubungkan dengan las pada kedua sisi ujungnya. Jenis sambungan ini hanya dipakai untuk pengelasan tambahan atau sementara pada pengelasan pelat-pelat tebal.



Gambar 2.4. Sambungan Dasar Konstruksi Las (AWS, 2004)

2.6.2. Posisi-Posisi Pengelasan

Berikut ini adalah empat posisi utama pengelasan pelat berdasarkan tingkat kesulitannya (AWS, 2004) :



Gambar 2.5. Posisi Pengelasan pada Sambungan Butt (AWS, 2004)

a. Flat 1G atau 1F

Posisi pengelasan dikatakan *flat* jika dilakukan dari bagian sisi atas sambungan dan muka las berada dalam posisi horizontal.

b. Horizontal 2G atau 2F

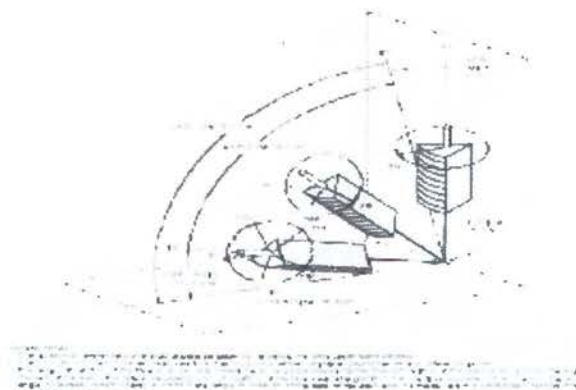
Posisi pengelasan dikatakan horizontal jika sumbu las berada pada posisi horizontal. Untuk sambungan *fillet*, pengelasan dilakukan pada sisi atas permukaan horizontal. Untuk sambungan tumpul, muka las terletak pada bidang vertikal.

c. Vertical 3G atau 3F

Posisi pengelasan dikatakan vertikal bila sumbu las berada pada posisi vertikal.

d. Overhead 4G atau 4F

Posisi *overhead* dilakukan bila pengelasan dilakukan dari sisi bawah sambungan.



Gambar 2.6. Diagram Posisi Pengelasan Butt Joint. (AWS, 2004)

2.6.3. Persiapan Sisi

Bentuk-bentuk persiapan sisi bermacam-macam, diantaranya tergantung pada proses pengelasan dan tebal pelat yang akan dilas. Disamping itu, posisi pengelasan, *accessibility*, pertimbangan ekonomis, kemampuan pembuatan dan kekuatan sambungan dalam menerima beban juga menjadi faktor penentu pemilihan bentuk persiapan sisi. Dalam menentukan bentuk persiapan sisi yang tepat, selain dipergunakan perhitungan juga diperlukan pengalaman. Umumnya, persiapan sisi dikerjakan dengan tiga cara yaitu *shearing*, *thermal cutting* dan *machining*. *Shearing* merupakan cara yang ekonomis dalam memotong logam namun dibatasi oleh ketebalan material yang akan dipotong. Bentuknya berupa potongan lurus. *Flame cutting* merupakan cara yang paling banyak dipakai dalam membuat persiapan sisi karena selain bisa diperoleh bentuk lurus juga bisa dibuat bentuk bevel pada sisi pelat yang dipotong. *Root face* dibuat dengan cara ini. Cara ketiga, yaitu *machining* merupakan cara yang paling mahal. Cara ini umumnya dilakukan untuk membuat persiapan sisi bentuk U atau J. *Machining* merupakan cara yang umum dipakai dalam membuat persiapan sisi pada sambungan pipa/*tube* (Hendropasetyo, 2005).

Jenis Lasan Jenis alur	LASAN DENGAN ALUR		
	Lasan Permtasi Penuh tanpa pelat penahan	Lasan Permtasi Penuh dengan pelat penahan	Lasan Permtasi sebagian
Persegi (I)			
V tunggal (V)			
Tirus tunggal (U)			
U tunggal (U)		—	
V ganda (X)		—	
Tirus ganda (X)		—	
U ganda (X) (DU)		—	
J tunggal (J)		—	
J ganda (DJ)		—	

Gambar 2.7. Bentuk Persiapan Sisi untuk *Butt Joint* (Wirjosumarto, 1996)

2.6.4. Tegangan Busur

Tingginya tegangan busur tergantung pada panjang busur yang dikehendaki dan jenis elektroda yang digunakan.

2.6.5. Besar Arus Las

Besarnya arus las yang diperlukan tergantung dari bahan dan ukuran lasan, geometri sambungan, posisi pengelasan, jenis elektroda, dan diameter inti elektroda.

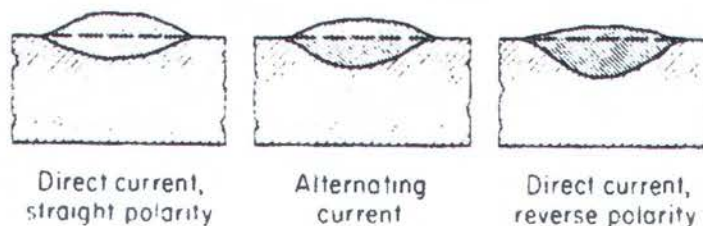
2.6.6. Kecepatan Pengelasan

Kecepatan pengelasan berbanding lurus dengan arus las. Kecepatan pengelasan tergantung dari jenis elektroda, diameter inti elektroda, bahan yang dilas, dan geometri sambungan. Oleh karena itu pengelasan yang cepat membutuhkan arus yang tinggi. Bila tegangan dan arus dibuat tetap sedangkan kecepatan pengelasan dinaikkan maka jumlah deposit per satuan panjang las akan menurun.

2.6.7. Polaritas Listrik

Pengelasan busur listrik dengan elektroda terbungkus dapat menggunakan polaritas lurus dan polaritas balik. Pemilihan polaritas ini tergantung pada bahan pembungkus elektrode dan kondisi termal dari bahan induk.

Pada gambar dibawah dapat dilihat perbedaan dari masing-masing variasi polaritas akan menghasilkan kedalaman penetrasi dan bentuk *bead* yang berbeda. Gambar 2.8. menunjukkan perbedaannya bahwa pada DCRP, penetrasi yang dihasilkan dalam dan weld depositnya kecil, sebaliknya bila DCSP, penetrasinya dangkal dan weld depositnya besar. Untuk AC, penetrasinya dalam tetapi tidak sedalam DCRP, weld depositnyapun besar tetapi tidak sebesar DCSP.



Gambar 2.8. Variasi polaritas DCSP, AC, DCRP (ASM, 1971)

2.6.8. Kedalaman penetrasi

Untuk mendapatkan kekuatan sambungan yang tinggi maka diperlukan penembusan atau penetrasi yang cukup, sedangkan besarnya penembusan tergantung pada polaritas, besarnya arus, kecepatan pengelasan, dan tegangan busur yang digunakan. Pada dasarnya semakin besar arus yang digunakan maka semakin besar juga daya tembusnya. Tegangan memberikan pengaruh sebaliknya yaitu makin besar tegangan makin panjang busur yang terjadi dan makin tidak terpusat, sehingga panas yang dihasilkan akan melebar dan menghasilkan penetrasi yang lebar dan dangkal.

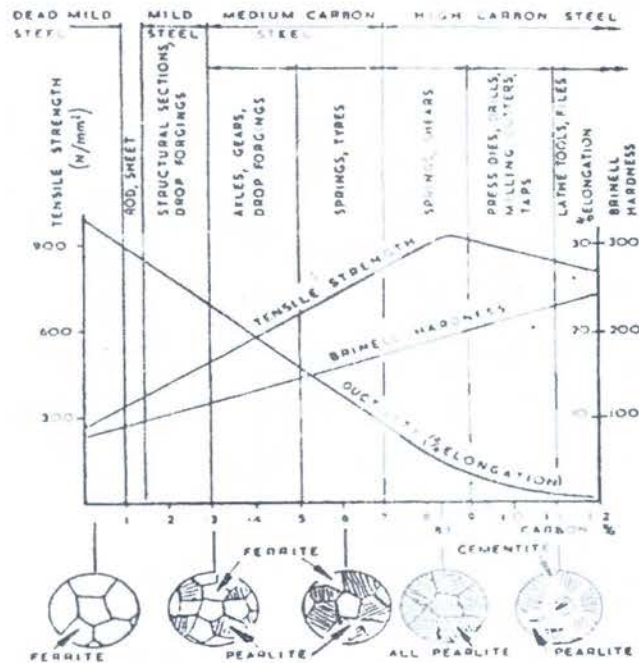
2.7. Sifat Mekanik

Sifat mekanik adalah salah satu sifat terpenting, karena sifat mekanik menyatakan kemampuan suatu bahan (tentunya juga komponen bahan tersebut) untuk menerima beban/gaya/energi tanpa menimbulkan kerusakan pada bahan atau komponen tersebut. Sifat logam dapat diketahui dengan cara melakukan pengujian terhadap logam tersebut. Pengujian biasanya dilakukan terhadap spesimen/batang uji dengan bentuk dan ukuran yang standard, demikian juga prosedur pengujian yang dilakukan. Sering kali bila suatu bahan mempunyai sifat mekanik yang baik tetapi kurang baik pada sifat yang lain maka diambil langkah untuk mengatasi kekurangan tersebut dengan berbagai cara. Misalnya saja baja, baja mempunyai sifat mekanik yang cukup baik (memenuhi persyaratan untuk suatu pemakaian) tetapi mempunyai sifat tahan korosi yang kurang baik, maka sering kali sifat tahan korosinya ini diperbaiki dengan pengecatan atau *galvanizing* dan lain-lain, jadi tidak harus mencari bahan lain yang selain kuat juga tahan korosi (Beumer, 1985).

Beberapa sifat mekanik yang penting antara lain :

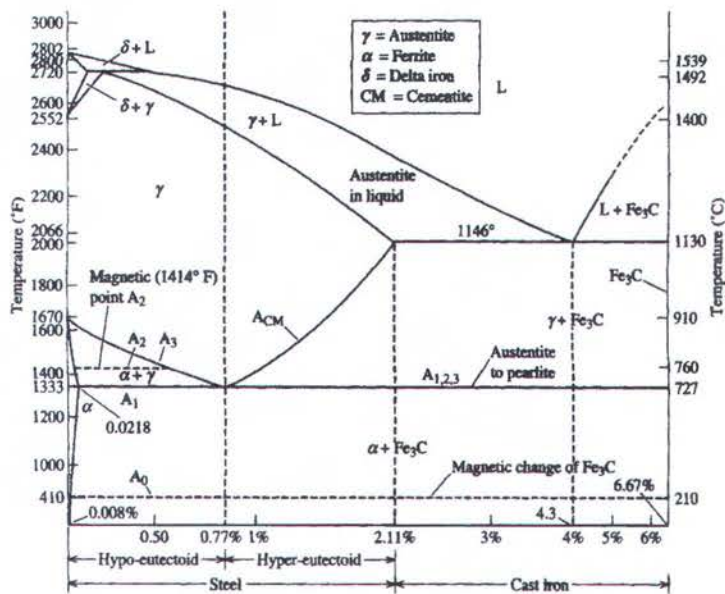
- Kekuatan (*strength*) menyatakan kemampuan bahan untuk menerima tegangan tanpa menyebabkan bahan menjadi patah. Kekuatan ini ada beberapa macam, tergantung pada jenis bahan yang bekerja, yaitu kekuatan tarik, kekuatan geser, kekuatan tekan, kekuatan torsi dan kekuatan lengkung.
- Kekerasan (*hardness*) dapat didefinisikan sebagai kemampuan bahan untuk tahan terhadap penggoresan, pengikisan (abrasi), indentasi atau

penetrasi. Sifat ini berkaitan dengan sifat tahan aus (*wear resistance*). Kekerasan juga mempunyai korelasi dengan kekuatan tarik.



Gambar 2.9. Korelasi antara Kekuatan Tarik, Kekerasan, Keuletan, dan Struktur Mikro (ASM, 1971)

2.8. Diagram Fase Baja karbon

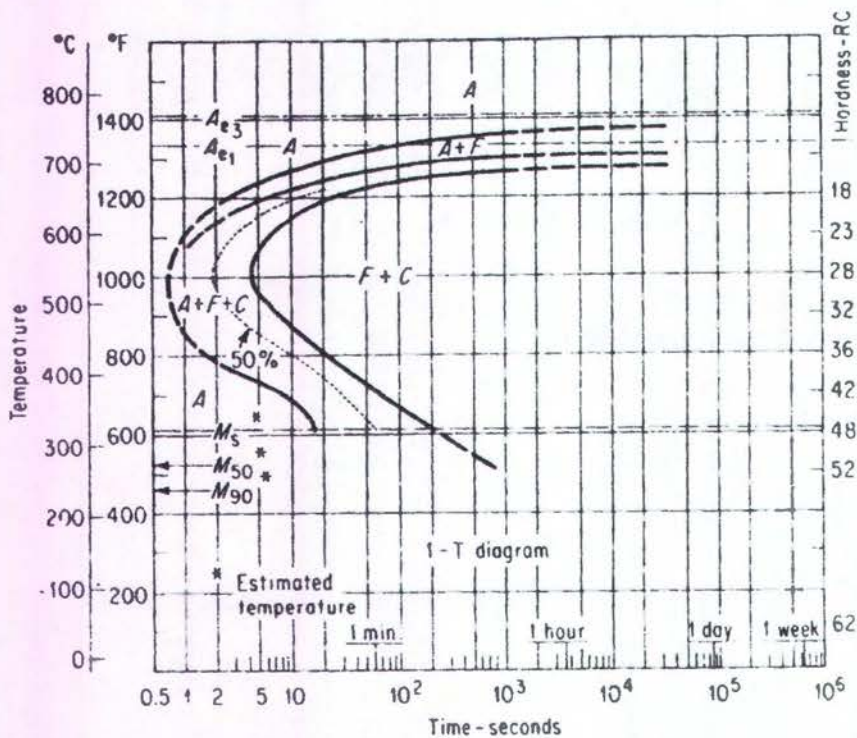


Gambar 2.10. Diagram Fase Fe – Fe₃C (ASM, 1971)

Pada Gambar 2.10 dapat dilihat diagram fase kesetimbangan antara Fe dengan Fe_3C dimana karbon memiliki kelarutan maksimum dalam Fe sebesar 6.67 %. Dalam besi cair karbon dapat larut, tetapi dalam keadaan padat kelarutan karbon dalam besi akan terbatas. Selain sebagai larutan padat, besi dan karbon juga dapat membentuk senyawa interstitial (*interstitial compound*), eutektik dan eutektoid atau juga mungkin juga karbon akan terpisah sebagai grafit.

2.9. Kecepatan Pendinginan

Struktur mikro dan sifat mekanis akhir lasan sangat ditentukan oleh laju pendinginan. Kecepatan pendinginan kritis atau *critical cooling rate* (CCR) adalah kecepatan pendinginan dimana pada batas ini cenderung timbulnya retak besar sekali, untuk baja akan terbentuk struktur martensit yang keras dan getas.



Gambar 2.11. Diagram TTT (*Time-Temperature-Transformation*) untuk Baja *Hypoeutectoid* (Avner, 1974)

Kurva CCR ini ditunjukkan dengan adanya kurva yang menempel pada “nose” diagram TTT (*time-temperature-transformation*), lihat pada Gambar 2.11. Pada baja karbon rendah memiliki kecepatan pendinginan kritis yang tinggi. Bila

sebuah logam memiliki CCR, kurva yang tepat menempel pada "nose", maka pada pendinginan udara biasa dapat dipastikan bahwa struktur lasnya bukan martensit dengan alasan karena kecepatan pendinginan pengelasan atau *cooling rate welding* (CRW) dengan udara berada disebelah kanan dari CCR-nya. Sebaliknya bila kurva CRW-nya berada pada sebelah kiri CCR-nya (lebih cepat dari CCR-nya) maka akan mempermudah timbulnya retak. Untuk mengatasi hal ini, diperlukan *preheat* dan atau *postheat*. Karena pada baja karbon rendah kecepatan pendinginan kritis yang dimiliki tinggi maka tidak diperlukannya *preheat* maupun *postheat*. Pada akhir pengelasan akan menghasilkan struktur yang ulet sehingga sambungan diharapkan tahan terhadap *internal stress* yang terjadi dari proses las dan tidak menyebabkan retak.

2.10. Uji Tarik

Kekuatan tarik merupakan sifat mekanik logam yang penting. Terutama untuk perencanaan konstruksi maupun pengerjaan logam tersebut. Kekuatan tarik suatu bahan dapat diketahui dengan menguji tarik pada bahan yang bersangkutan. Dari hasil pengujian tarik tersebut dapat diketahui pula sifat-sifat yang lain, seperti: perpanjangan, reduksi penampang, dan sebagainya.

Pada pengujian tarik, spesimen dikenai beban uji aksial yang semakin besar secara kontinyu. Langkah-langkah pengujian tarik dapat dijelaskan sebagai berikut:

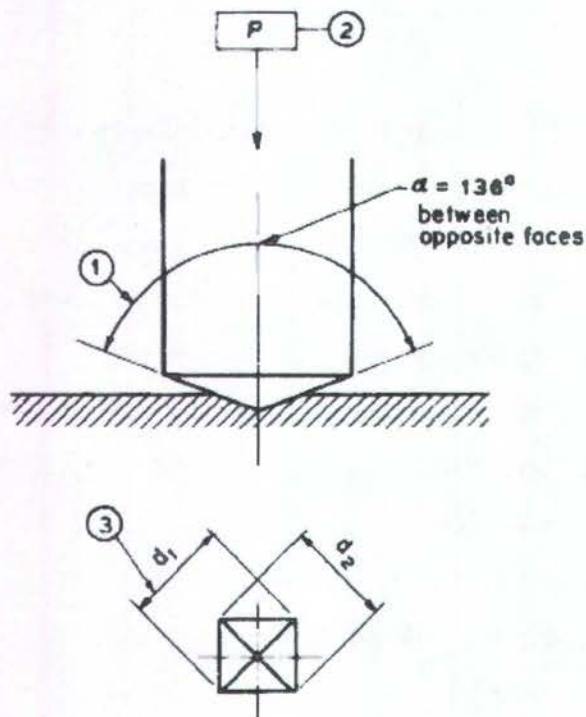
1. Catat data mesin tarik.
2. Ukur dimensi spesimen, tiap dimensi diukur tiga kali.
3. Spesimen dipasang pada penjepit.
4. Atur skala pembebanan.
5. Kertas grafik dan pena dipasang.
6. Pemberian pembebanan dengan kecepatan maksimum (P_{max}).
7. Selama penarikan, perhatikan perubahan yang terjadi pada spesimen maupun grafik.

Selama penarikan setiap saat dicatat dengan grafik yang tersedia pada mesin tarik, besarnya gaya tarik yang bekerja dan besarnya pertambahan panjang yang terjadi akibat gaya tarik tersebut. Data yang diperoleh dari mesin tarik biasanya dinyatakan dengan grafik *beban-pertambahan panjang* (grafik $P - \Delta L$).

2.11. Uji Kekerasan Vickers

Kekerasan suatu bahan merupakan salah satu sifat mekanik yang penting. Pengujian kekerasan dapat digunakan untuk kontrol kualitas suatu produk seperti mengetahui homogenitas akibat suatu proses pembentukan dingin, pemaduan, *heat treatment*, *case hardening*, dan sebagainya.

Pengujian kekerasan Vickers dilakukan berdasarkan standar ASTM E92. Pada pengukuran kekerasan menurut Vickers suatu benda penekan intan dengan bentuk piramida lurus dengan alas bujur sangkar dan dengan sudut puncak 136° , ditekan ke dalam bahan dengan gaya F tertentu selama waktu tertentu. Setelah piramida diangkat diagonal d bekas tekanan tetap diukur. Kekerasan Vickers dapat diperoleh dengan membagi gaya pada luas bekas-tekanan berbentuk piramida.



Gambar 2.12. Prinsip Uji Kekerasan *Vickers* (ASTM, 2003)

Keterangan :

Nomor	Simbol	Keterangan
1	α	Piramida pengidentasi dengan sudut puncak 136°
2	P	Beban Uji dalam kilogram-force (Kgf)
3	d	Nilai rata panjang diagonal d_1 dan d_2

2.12. Pengamatan Metalografi:

Pengamatan metalografi didasarkan pada perbedaan intensitas sinar pantul permukaan logam yang masuk ke dalam mikroskop, sehingga terjadi gambar yang berbeda (gelap, agak terang, terang). Agar permukaan logam dapat diamati secara metalografi, maka permukaan logam tersebut terlebih dahulu dilakukan persiapan berikut:

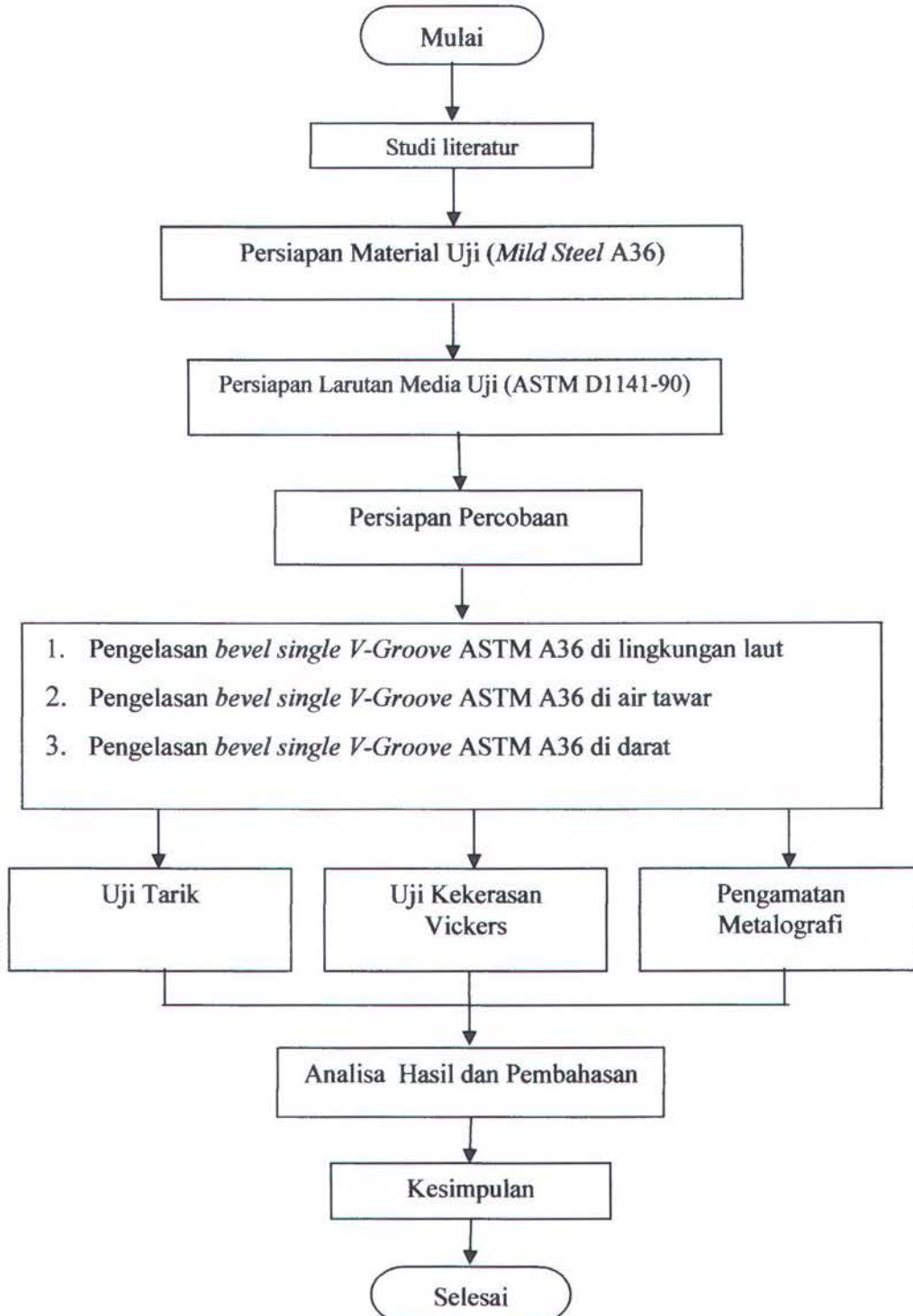
1. Pemotongan spesimen.
2. *Mounting* spesimen (bila diperlukan).
3. *Grinding* dan *polishing*.
4. Etsa.

Setelah permukaan spesimen dietsa, maka spesimen tersebut siap diamati. Pengamatan metalografi ini bertujuan untuk membedakan struktur logam, mengamati bentuknya, melihat adanya cacat, dan lain sebagainya.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Diagram Alir Metodologi Penelitian



Gambar 3.1. Diagram Alir Penelitian

3.2. Penjelasan Metodologi Penelitian

Prosedur penyelesaian penelitian yang digunakan terdiri dari beberapa tahapan, yaitu sebagai berikut:

1. Studi Literatur

Mencari teori-teori dan data-data yang akan digunakan dalam penelitian dan analisa. Data-data dan teori yang digunakan dapat diperoleh dari penelitian sebelumnya, jurnal, buku-buku yang relevan, situs internet.

2. Persiapan Material Uji

Material yang digunakan adalah Pelat Baja jenis *Mild Steel* ASTM A36. Spesimen uji dibuat berbentuk segi empat dengan ukuran dan tipe sebagai berikut:

Tipe : *Mild Steel A36*

Panjang : 280 mm

Lebar : 200 mm

Tebal : 12 mm

Kampuh : *Single V-groove (shoulder edge)*.



Gambar 3.2. Persiapan *Butt Joint Single V-groove*.

3. Persiapan Larutan Media Uji (*Pengganti air laut*)

Pada penelitian ini, digunakan larutan kimia sebagai pengganti air laut. Komposisi kimia pengganti air laut sesuai dengan standar ASTM D1141-90, "*Standart Specification for Subtitute Ocean Water*".

4. *Persiapan Percobaan*

- ✓ Persiapan spesimen uji dan bahan penelitian:
 - a. Spesimen Baja A36
 - b. Elektroda las AWS E-6013 dengan *wax waterproof coating* (untuk pengelasan di dalam air, baik air laut maupun air tawar); Serta Elektroda AWS E-6013 tanpa pelapis tambahan (untuk las darat).
- ✓ Persiapan peralatan:
 - a. Mesin Las SMAW merek ESAB LHE 300 lengkap dengan peralatan (*equipment*)-nya.
 - b. Gerinda
 - c. Tang penjepit
 - d. Palu
 - e. Sikat baja
 - f. Penggaris
 - g. Jangka sorong
 - h. Kikir
 - i. *Stop watch*
 - j. Bak las

5. *Pelaksanaan Eksperimen Las*

Proses pengelasan ini adalah bertujuan untuk menggabungkan dua buah pelat hingga membentuk sebuah spesimen yang nantinya akan diperoleh bagian *HAZ* guna diujikan pada langkah pengerjaan berikutnya. Prosedur pengelasan mengacu pada *Welding Procedure Specification* (WPS) berdasarkan standar AWS D1.1 2004 tentang prosedur pengelasan material baja. Adapun spesifikasi prosedur pengelasan (WPS) adalah sebagai berikut :

- *Welding Process : Shield Metal Arc Welding (SMAW)*
- *Type : Manual*
- *Joint Design : Butt Joint, Single 'V' Groove*
- *Base Metal : Groove : 5 – 10 mm*
- *Filler Metal :*
 - *AWS no. (Classification) : E 6013*

- *Diameters : 2,6 mm & 3,2 mm*
- *Welding Position : 1 G (flat position)*
- *Interpass Temperature : 50⁰ - 300⁰*
- *Current (AC or DC) : DC*
- *Polarity : DCRP (reverse polarity)*
- *Amperage (Range) : 70 – 120 Ampere*
- *Voltage (Range) : 22,8 – 24,8 V*
- *String or Weave Bead : Both*
- *Initial and Interpass Cleaning : Chipping, Brushing and Grinding*
- *Technique : Back Weld / Grinding*
- *Travel Of Speed : 40 – 120 mm/minute*

Parameter-parameter pengelasan yang dilakukan baik di lingkungan laut, air tawar, maupun darat adalah sama. Untuk pengelasan dalam air laut dan air tawar, elektroda diberi pelapis tambahan berupa lapisan lilin yang bersifat kedap air (*waterproof*). Adapun Langkah-langkah pengelasan tersebut secara umum adalah sebagai berikut :

- a. Pemasangan tanggem untuk mengurangi terjadinya deformasi pada material las.



Gambar 3.3. Pemasangan Tanggem Las

- b. Mesin las disiapkan termasuk besarnya arus dan voltase mesin las sesuai dengan parameter yang telah ditentukan dari WPS.
- c. Proses pengelasan mulai dilakukan.
- d. Setelah pengelasan pada *layer* pertama selesai maka permukaan las dibersihkan dari kerak las dengan menggunakan sikat baja.

- e. Untuk *layer* kedua, ketiga, keempat, dan kelima digunakan langkah pada nomor c–e, pembersihan alur dengan gerinda merupakan pekerjaan yang tidak wajib dilakukan.
- f. Setelah pengelasan hingga *layer* kelima dilakukan, maka tanggem las dilepas, dan dilakukan *backweld*.

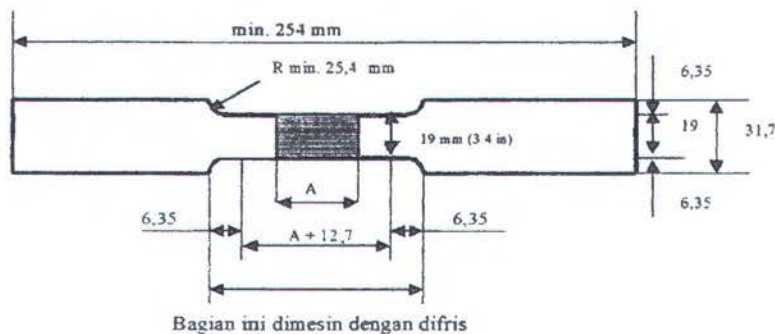
Semua kegiatan yang berkaitan dengan proses pengelasan dengan berdasarkan langkah di atas harus dicatat secara teliti yang mencakup besarnya arus, *voltage*, waktu pengelasan setiap *layer*-nya.

6. Setelah proses pengelasan selesai, maka pelat dipotong untuk persiapan spesimen uji. Mesin pemotong yang digunakan adalah merek *Kasto, Walnut-Holland*. Pada daerah tepian (ujung awal dan akhiran las-lasan) spesimen dipotong minimal sebanyak 1 inch. Hal ini dilakukan untuk mengeliminir hasil las-lasan yang biasanya buruk di daerah awalan dan akhiran. Selebihnya pemotongan spesimen dibuat sesuai kebutuhan pengujian.

7. Pembuatan spesimen uji.

a. *Spesimen uji tarik*

Bentuk dan ukuran spesimen uji tarik berdasarkan ASME IX.



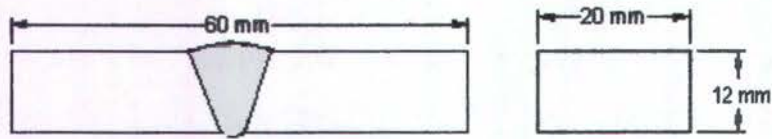
Gambar 3.4. Spesimen Uji Tarik (ASME IX, 1995)

b. *Spesimen untuk pengamatan metalografi*

Untuk persiapan pengamatan metalografi, persiapan spesimennya adalah:

1. Dilakukan persiapan spesimen dengan ukuran 60 mm x 20 mm x 10 mm.

2. Dilakukan proses sekrab untuk mendapatkan bentuk yang sesuai dengan ukuran.



Gambar 3.5. Spesimen Metalografi

3. Hasil dari proses sekrab dihaluskan menggunakan gerinda dan *sponge*.
4. Bagian tajam dihaluskan menggunakan kikir.
5. Permukaan yang akan diamati dihaluskan menggunakan mesin poles.
6. Pemolesan dilakukan dengan kertas gosok tahan air dengan *grade* bertingkat mulai dari *grade* 80 hingga 2000.
7. Penggantian kertas gosok dilakukan jika hasil pemolesan *grade* sebelumnya tidak nampak.
8. Pemolesan dilakukan hingga permukaan spesimen bersih, mengkilap dan tidak lagi ada goresan.
9. Pemolesan terakhir dilakukan hingga permukaan bersih mengkilap.
10. Untuk foto makro, permukaan spesimen dietsa sesuai dengan standar ASTM E 340; Untuk foto mikro, permukaan spesimen dietsa dengan nital 4% (sesuai dengan standar ASTM E 407). kemudian taburi permukaan spesimen dengan serbuk alumina dengan kain beludru.

c. *Spesimen uji kekerasan*

Ukuran spesimen uji kekerasan sama dengan ukuran spesimen untuk mengamati metalografi, bedanya adalah permukaan spesimen tidak dietsa.

8. Pelaksanaan pengujian.

a. Uji Tarik

Test uji tarik dilakukan dengan menggunakan mesin uji tarik di Laboratorium Konstruksi dan Kekuatan Jurusan Teknik Perkapalan dengan menggunakan beban maksimum 500 MPa.

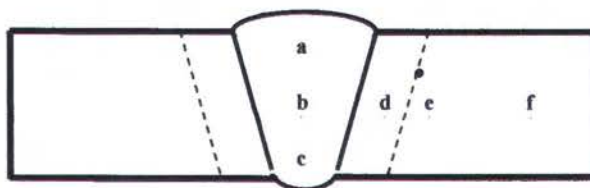
b. Pengamatan Metalografi

1. Untuk pengamatan foto makro, dilakukan dengan menggunakan kamera manual merek *Olympus* yang berkekuatan pembesaran optik hingga 11 X. Pengamatan makro dilakukan pada tiga spesimen, yaitu di daerah sambungan las hasil pengelasan di lingkungan air laut, air tawar dan di darat.
2. Untuk pengamatan foto mikro, dilakukan dengan menggunakan kamera mikroskop.



Gambar 3.6. Kamera Mikroskop

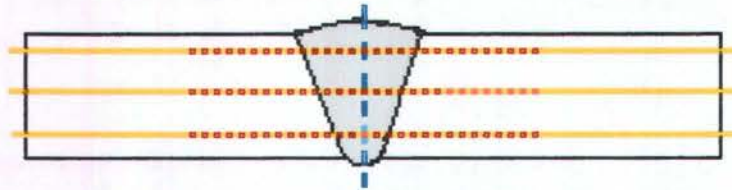
Pengamatan struktur mikro dilakukan pada tiga spesimen, yaitu hasil pengelasan di lingkungan air laut, air tawar dan di darat. Tiap spesimen akan diambil sampel struktur mikro dengan pembesaran yang tetap (100 X) di enam titik, yaitu: (a) Daerah *Top Weld* (b) Daerah *Center Weld* (c) Daerah *Root Weld* (d) Daerah HAZ (e) Daerah transisi antara HAZ dan base *metal* (f) Daerah *Base Metal*.



Gambar 3.7. Titik Pengambilan Foto Mikro

c. Uji Kekerasan

Pengujian kekerasan dengan menggunakan metode Vickers dengan indentasi sebesar Hv10. Daerah yang diuji kekerasan adalah :



Gambar 3.8. Titik Uji Kekerasan

- Daerah *top*, yaitu 2 mm dari permukaan *top* terluar. Tiap titik pengukuran berjarak 2 mm dimulai dari pusat *weldment* sampai ke *base metal* dengan arah horizontal.
- Daerah pada pertengahan ketebalan spesimen. Tiap titik pengukuran berjarak 2 mm dimulai dari pusat *weldment* sampai ke *base metal* dengan arah horizontal.
- Daerah *root*, yaitu 2 mm dari permukaan *root* terluar. Tiap titik pengukuran berjarak 2 mm dimulai dari pusat *weldment* sampai ke *base metal* dengan arah horizontal.

BAB IV

ANALISA HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Analisa Data Rekaman Pengelasan

Dari hasil eksperimen las yang telah dilakukan, didapatkan data rekaman set parameter dan catatan waktu pengelasan sebagai berikut:

Material : *Mild Steel A36*

Dimensi : 280 x 200 x 12 mm

Welder : P. Pardi

Kampuh : *Single V-groove*

Dia. Elek : 2,6 (*1st pass*) & 3,2 mm *RB 26 Kobe Steel*

Tabel 4.1. Rekaman Set Parameter dan Catatan Waktu Pengelasan Rata-rata

Layer	E (Volt)	I (Ampere)	Time			L (mm)	Travel Speed
			Minute	Second	1/100 S		
1	24.2	90	5	1	53	200	40 mm/min
2	24.4	110	2	12	60	200	91 mm/min
3	24.4	110	2	14	28	200	89 mm/min
4	24.6	115	2	24	36	200	83 mm/min
5	24.6	120	2	20	90	200	85 mm/min
Backweld							
1	24.6	115	1	45	23	200	113 mm/min

Dari rekaman yang tercatat pada tabel tersebut diatas, didapat bahwa arus listrik yang digunakan pada proses pengelasan adalah berkisar antara 90-120 A, dengan *voltage range* antara 24,2-24,6 Volt, dengan *travel speed* (min-max): 40-113 mm/min.

4.2. Pengamatan Visual Hasil Pengelasan

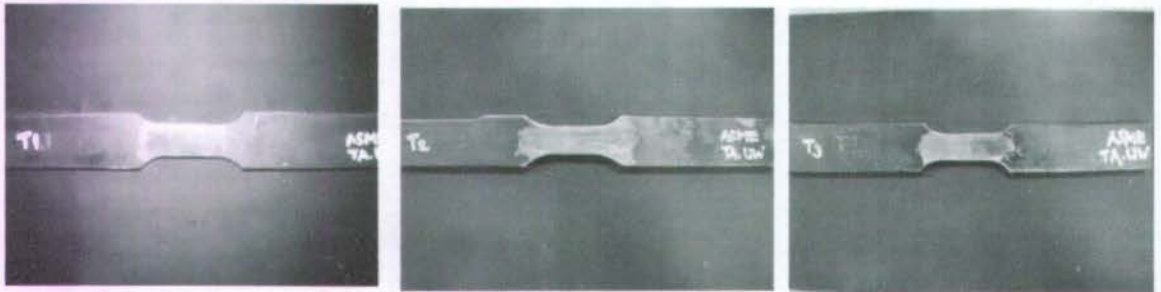
Pada penampang hasil las-lasan, cukup banyak dijumpai cacat las (Gambar visualisasi hasil pengelasan dapat dilihat pada lampiran A). Pada pengelasan bawah

air, cacat yang paling banyak dijumpai adalah *porosity* dan *undercut*. *Porosity* merupakan salah satu bentuk cacat pada lasan yang terjadi akibat adanya sejumlah gas yang terperangkap di dalam las-lasan.

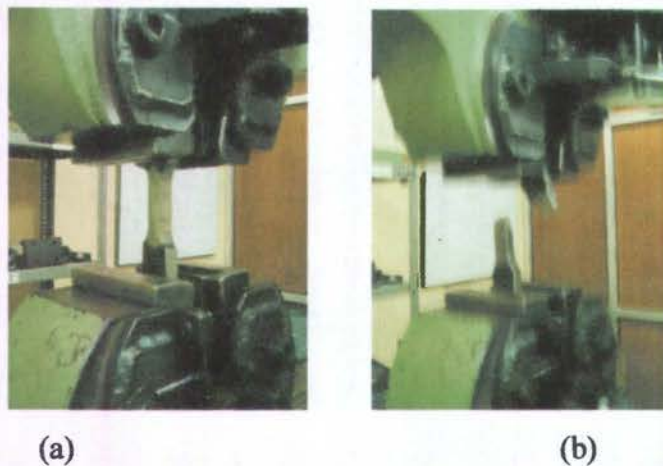
4.3. Pengujian Tarik

4.3.1. Pelaksanaan Pengujian Tarik

Pengujian tarik dilakukan dengan menggunakan dasar AWS D.1.1 2004 tentang metode standar untuk pengujian tarik material logam. Besarnya *tensile range* mesin uji adalah 400 – 550 MPa. Spesimen uji tarik dibuat sesuai standar ASME IX.



Gambar 4.1. Spesimen Uji Tarik Sesuai Standar ASME IX



(a)

(b)

Gambar 4.2. Pelaksanaan Uji Tarik

(a) Sesaat Sebelum Spesimen Patah (b) Sesaat Setelah Spesimen Patah

4.3.2. Hasil Uji Tarik

Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, pengujian tarik ini mengacu pada standar AWS D1.1 2004 dan dilakukan untuk mendapatkan besarnya nilai dari

kekuatan maksimum (*ultimate stress*). Proses pelaksanaan pengujian tarik (*tension test*) ini dilakukan di Laboratorium Konstruksi dan Kekuatan Kapal pada kondisi temperatur kamar. Berikut ini hasil dari pengujian tarik (Tabel 4.2.):

Tabel 4.2.a : Hasil Pengujian Tarik 1

No.	Code Material	C.S.A (mm ²)	Tensile Test Results		Elongation (%)	Remark
			F _{ult} (kN)	σ _{ult} (Kgf/mm ²)		
1.	T _{1.1}	217.11	105	49.29	5.6	Break at BM
2.	T _{2.1}	217.28	108	50.67	5.32	Break at BM
3.	T _{3.1}	213.97	103	49.07	3.9	Break at BM

Keterangan :

T_{1.1} = Spesimen uji tarik hasil pengelasan di darat

T_{2.1} = Spesimen uji tarik hasil pengelasan di air tawar

T_{3.1} = Spesimen uji tarik hasil pengelasan di lingkungan air laut

BM = *Base Metal*

Tabel 4.2.b : Hasil Pengujian Tarik 2

No.	Code Material	C.S.A (mm ²)	Tensile Test Results		Elongation (%)	Remark
			F _{ult} (kN)	σ _{ult} (Kgf/mm ²)		
1.	T _{1.2}	222.14	107	49.10	6.03	Break at BM
2.	T _{2.2}	220.52	105.5	48.76	5.5	Break at BM
3.	T _{3.2}	217.12	106	49.77	4.43	Break at BM

Keterangan :

T₁ = Spesimen uji tarik hasil pengelasan di darat

T₂ = Spesimen uji tarik hasil pengelasan di air tawar

T₃ = Spesimen uji tarik hasil pengelasan di lingkungan air laut

BM = *Base Metal*

Tabel 4.2.c : Hasil Pengujian Tarik 3

No.	Code Material	C.S.A (mm ²)	Tensile Test Results		Elongation (%)	Remark
			F _{ult} (kN)	σ _{ult} (Kgf/mm ²)		
1.	T _{1,3}	218.18	104	48.58	5.67	Break at BM
2.	T _{2,3}	219.36	105	48.79	4.61	Break at BM
3.	T _{3,3}	212.13	103	49.49	5.25	Break at BM

Keterangan :

T₁ = Spesimen uji tarik hasil pengelasan di darat

T₂ = Spesimen uji tarik hasil pengelasan di air tawar

T₃ = Spesimen uji tarik hasil pengelasan di lingkungan air laut

BM = *Base Metal*

Tabel 4.2.d : Hasil Uji Tarik Rata-Rata

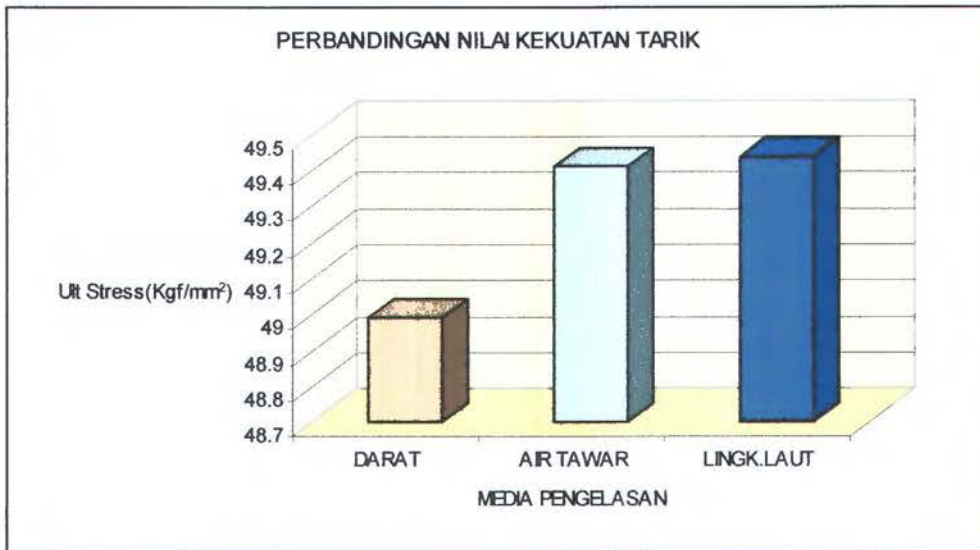
Uji Tarik Ke	T ₁ σ _{ult} (Kgf/mm ²)	T ₂ σ _{ult} (Kgf/mm ²)	T ₃ σ _{ult} (Kgf/mm ²)
1	49.29	50.67	49.07
2	49.10	48.76	49.77
3	48.58	48.79	49.49
RATA-RATA	48.99	49.41	49.44

Keterangan :

T₁ = Spesimen uji tarik hasil pengelasan di darat

T₂ = Spesimen uji tarik hasil pengelasan di air tawar

T₃ = Spesimen uji tarik hasil pengelasan di lingkungan air laut



Gambar 4.3. Grafik Perbandingan Nilai Kekuatan Tarik

Tabel 4.3. Elongasi

SPEC.	ELONG (%)
T1.1	5.6
T1.2	6.03
T1.3	5.67
RATA2	5.77

(T₁)

SPEC.	ELONG (%)
T2.1	5.32
T2.2	5.5
T2.3	4.61
RATA2	5.14

(T₂)

SPEC.	ELONG (%)
T3.1	3.9
T3.2	4.43
T3.3	5.25
RATA2	4.53

(T₃)

Keterangan:

T₁ = Elongasi spesimen uji tarik hasil pengelasan di darat

T₂ = Elongasi spesimen uji tarik hasil pengelasan di air tawar

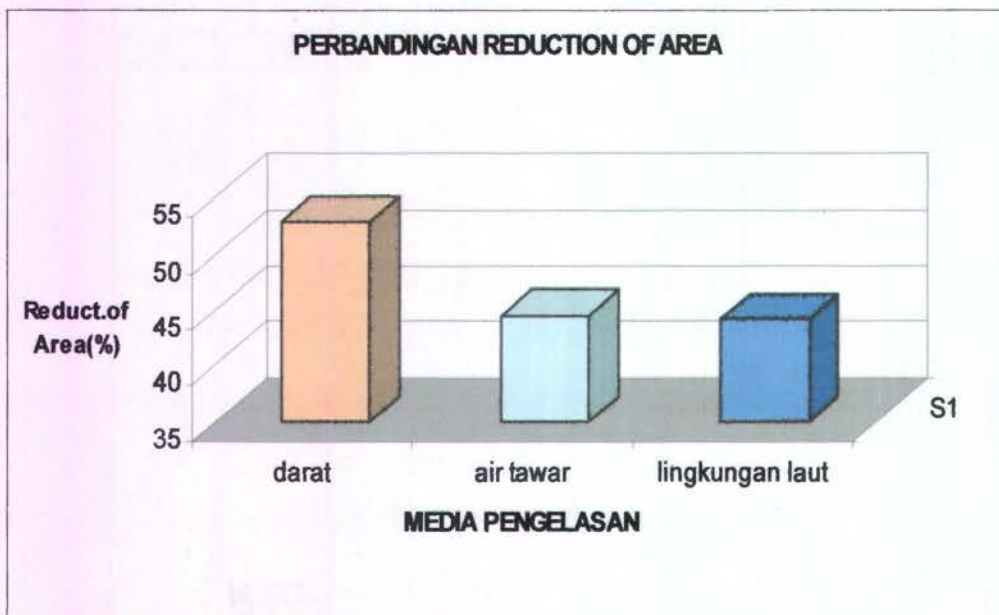
T₃ = Elongasi spesimen uji tarik hasil pengelasan di lingkungan air laut



Gambar 4.4. Grafik Perbandingan Elongasi

Tabel 4.4: *Reduction of Area*

CODE SPEC.	C.S.A (mm ²)	C.S.A' (mm ²)	REDUCT.OF AREA	
T1.1	217.11	103.54	52.31	%
T1.2	222.14	104.72	52.86	%
T1.3	218.18	101.29	53.57	%
		RATA2	52.91333	%
T2.1	217.28	124.85	42.54	%
T2.2	220.52	116.58	47.13	%
T2.3	219.36	122.76	44.04	%
		RATA2	44.57	%
T3.1	213.97	119.78	44.02	%
T3.2	217.12	120.12	44.67	%
T3.3	212.13	118.81	43.99	%
		RATA2	44.32667	%



Gambar 4.5. Grafik Perbandingan *Reduction of Area*

4.3.3. Pembahasan Uji Tarik

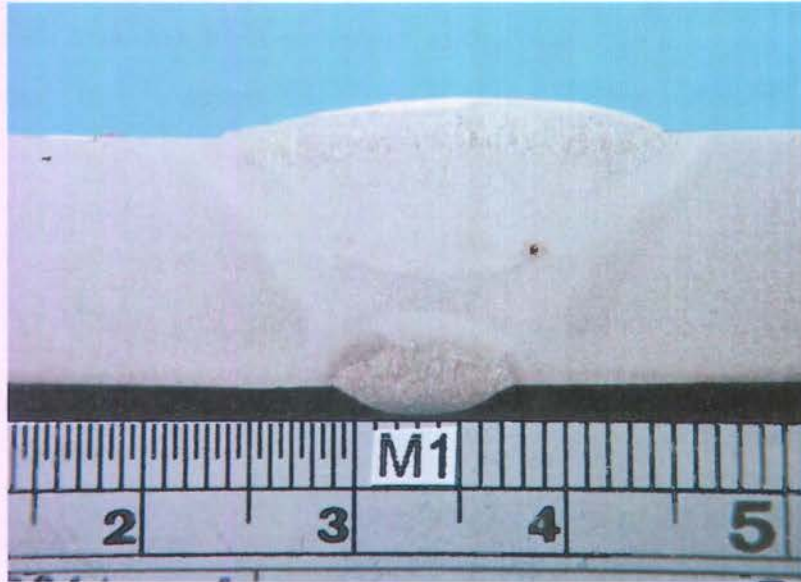
Dari uji tarik yang telah dilakukan, didapatkan bahwa :

1. Patahan pada spesimen uji berada di daerah *base metal*. Hal ini berarti bahwa: kekuatan sambungan las-lasan material (baik di lingkungan laut, air tawar, dan darat) adalah lebih besar dibandingkan dengan kekuatan *base metal*-nya sendiri.
2. Nilai Kekuatan tarik material berturut-turut mulai dari yang tertinggi hingga yang terendah adalah kekuatan tarik hasil pengelasan di lingkungan laut ($49,44 \text{ Kgf/mm}^2$) > air tawar ($49,41 \text{ Kgf/mm}^2$) > darat ($48,99 \text{ Kgf/mm}^2$). Dari nilai tarik tersebut, dapat dibuktikan bahwa nilai kekerasan berhubungan dengan nilai kekuatan tarik.
3. Δl (elongasi) spesimen las di lingkungan laut < Δl spesimen las di air tawar < Δl spesimen las di darat, yaitu sebesar: $4,527\% < 5,143\% < 5,767\%$. Hal ini menandakan bahwa material baja yang di las di lingkungan laut *ductility*-nya lebih kecil dibandingkan dengan pengelasan di air tawar dan di darat.
4. *Reduction of area* spesimen las di lingkungan laut < *Reduction of area* spesimen las di air tawar < *Reduction of area* spesimen las di darat, yaitu sebesar: $44,23\% < 44,57\% < 52,91\%$. Hal ini menandakan bahwa material baja yang di las di lingkungan laut *ductility*-nya lebih kecil dibandingkan dengan pengelasan di air tawar dan di darat.
5. Dari pembahasan no.2,3,dan 4 dapat diketahui bahwa semakin tinggi kuat tarik suatu material, maka harga *elongation* dan *reduction of area*-nya semakin rendah. Hal ini sesuai dengan sifat material yang menyatakan bahwa semakin kuat material, tapi ia semakin getas. Dan keuletan (*ductility*) material yang di las di bawah air relatif lebih rendah dibandingkan material yang di las di darat.

4.4. Pengamatan Metalografi

4.4.1. Pengamatan Struktur Makro

Gambar 4.6. menunjukkan foto struktur makro material baja ASTM A36 yang di las di darat. Dari foto tersebut tampak bahwa leburan *filler metal* antar *layer* berlangsung dengan sempurna. Di daerah tengah hasil lasan tampak adanya cacat las *porosity*. Hal ini berasal dari selubung elektroda. Bentuk *HAZ*-nya teratur.



Gambar 4.6. Foto Struktur Makro Hasil Las di Darat

Berikut ini adalah gambar foto struktur makro material baja yang dilas di bawah air, yaitu di air tawar (Gambar 4.7) dan di lingkungan laut (Gambar 4.8).



Gambar 4.7. Foto Struktur Makro Hasil Las di Air Tawar



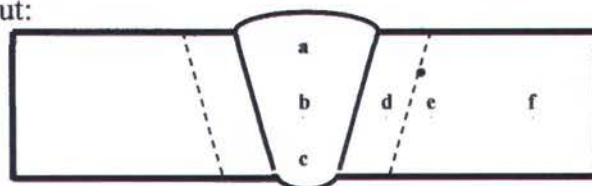
Gambar 4.8. Foto Struktur Makro Hasil Las di Lingkungan Laut

Dari kedua gambar tersebut tampak jelas bahwa leburan antar *layer* tidak sempurna, hal itu ditandai dengan terlihatnya garis-garis antar *layer*. Hal ini disebabkan karena media pengelasan yang berupa air, sehingga terjadi pendinginan cepat di setiap *layer*-nya. Lebar *HAZ* baik pada pengelasan di air tawar maupun di lingkungan air laut tampak sangat tidak teratur, dan ditandai dengan *overlapping* yang menggerus *bevel base metal*. Hal ini terjadi akibat saat pengelasan, pandangan saat mengelas terganggu akibat munculnya gelembung-gelembung gas di air permukaan.

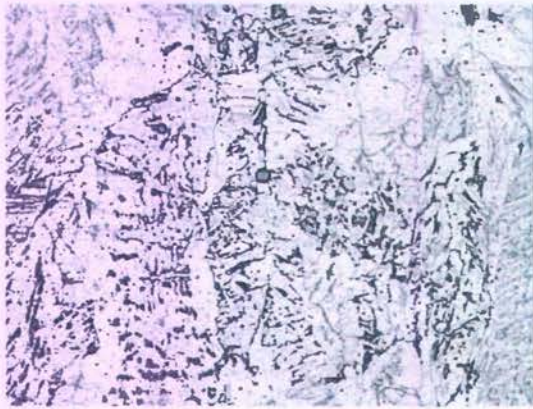
Dari kedua gambar tersebut diatas juga tampak adanya cacat las *porosity* dan *hydrogen embrittlement*, walau kecil-kecil tapi cukup banyak. Hal ini terjadi karena adanya gas hidrogen yang terperangkap di dalamnya yang berasal dari selubung elektroda ataupun karena kondisi lingkungan yang basah.

4.4.2. Pengamatan Struktur Mikro

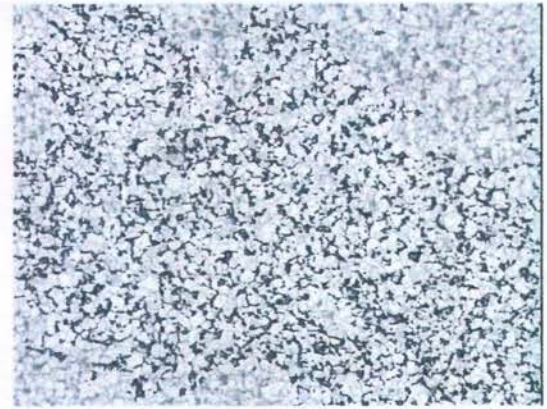
Dari pengamatan struktur mikro yang didapat, masing-masing spesimen diambil sampel foto struktur mikro dengan pembesaran yang tetap (100 X) di enam titik sebagaimana berikut:



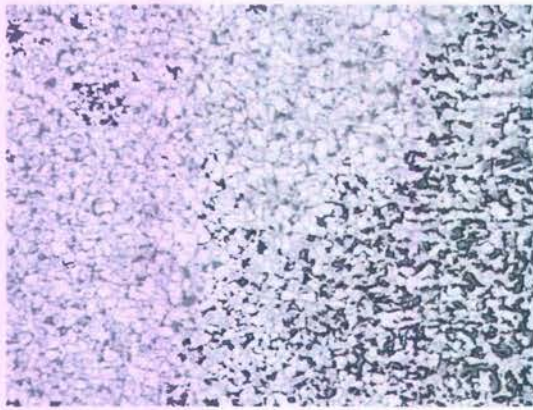
Gambar 4.9. Titik Pengambilan Foto Struktur Mikro



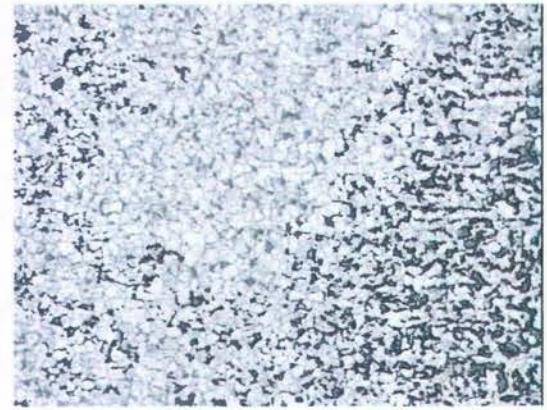
(a)



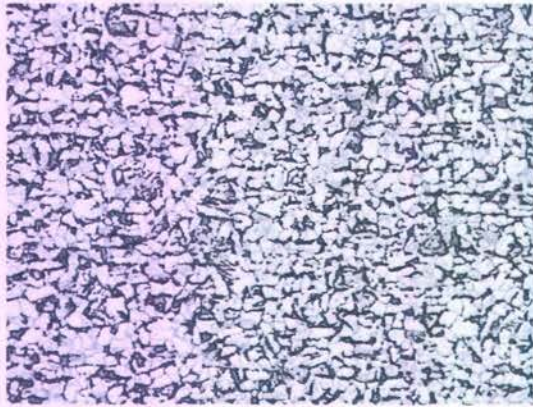
(b)



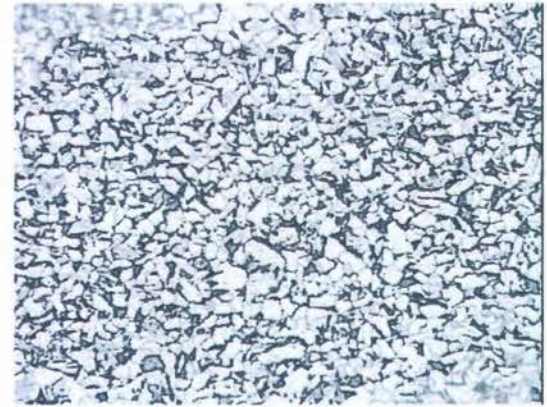
(c)



(d)



(e)



(f)

Gambar 4.10. Foto Struktur Mikro Hasil Las di Darat

a) Daerah *Top Weld* (b) Daerah *Center Weld* (c) Daerah *Root Weld*

(d) Daerah *HAZ* (e) Daerah Transisi antara *HAZ* dan *Base Metal*

(f) Daerah *Base Metal*



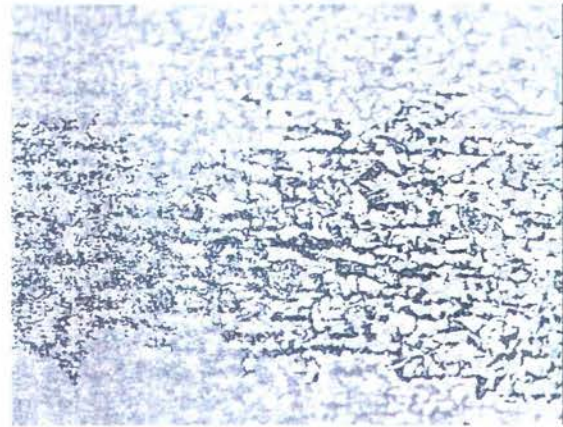
(a)



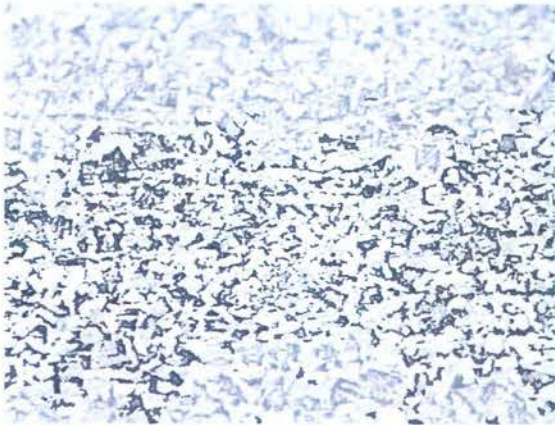
(b)



(c)



(d)



(e)



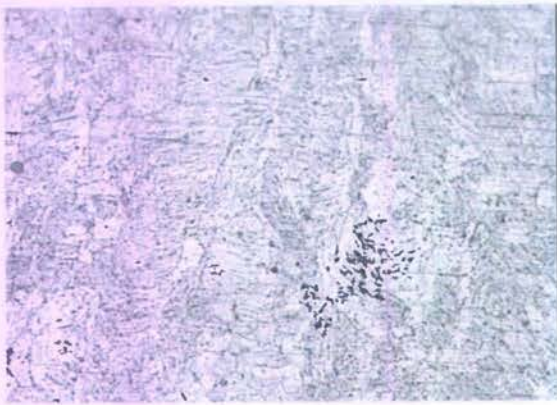
(f)

Gambar 4.11. Foto Struktur Mikro Hasil Las di Air Tawar

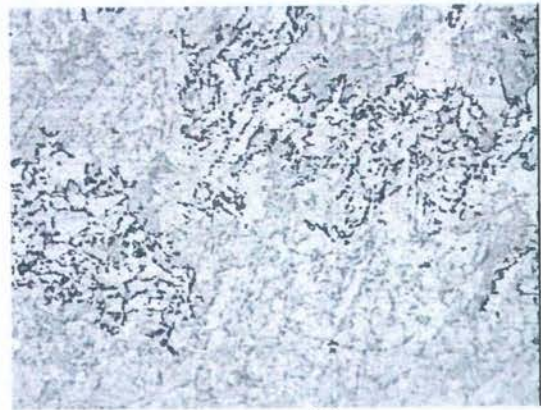
(a) Daerah *Top Weld* (b) Daerah *Center Weld* (c) Daerah *Root Weld*

(d) Daerah HAZ (e) Daerah Transisi antara HAZ dan *Base Metal*

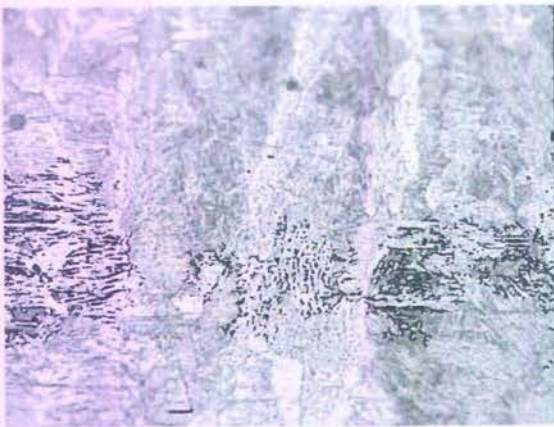
(f) Daerah *Base Metal*



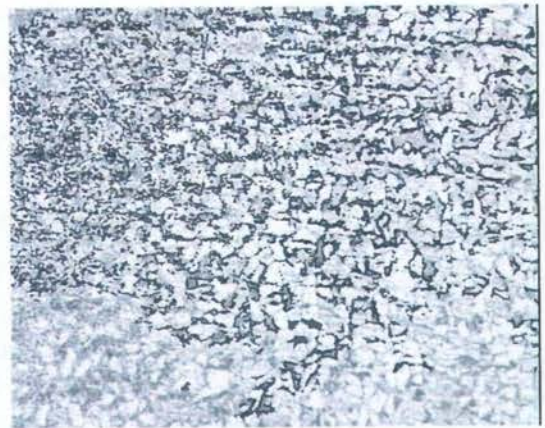
(a)



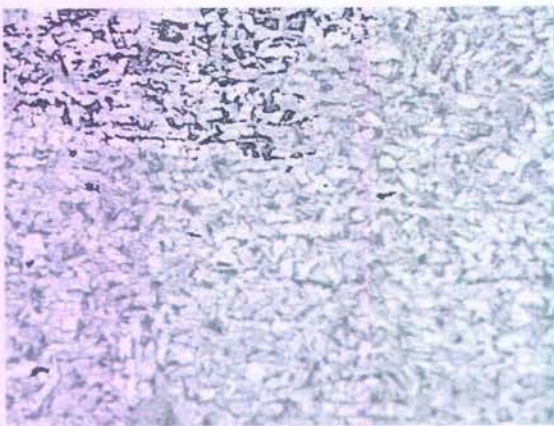
(b)



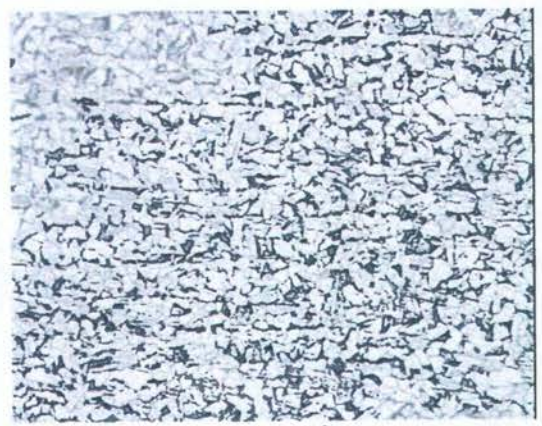
(c)



(d)



(e)



(f)

Gambar 4.12. Foto Struktur Mikro Las di Lingkungan Laut

(a) Daerah *Top Weld* (b) Daerah *Center Weld* (c) Daerah *Root Weld*

(d) Daerah *HAZ* (e) Daerah Transisi antara *HAZ* dan *Base Metal*

(f) Daerah *Base Metal*

Hasil Pengamatan Struktur Mikro:

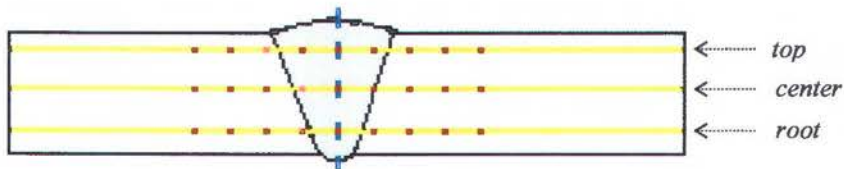
Pada Pengelasan bawah air, *weld metal* mengalami pencairan lalu membeku dengan cepat sehingga kesempatan butir yang mengalami pertumbuhan butir yang hebat pada waktu pencairan tidak sempat bertransformasi menjadi butir yang lebih halus karena cepatnya pendinginan. Hal ini menyebabkan ferit proeutektoid yang terbentuk dari austenit tidak sempat bertransformasi menjadi lebih halus demikian pula dengan perlit yang terbentuk. Karena terjadi perubahan struktur secara metalurgis maka sifat-sifat mekaniknya juga berubah.

Pada daerah *top weld* dan *root weld* tampak adanya martensit yang cukup banyak. Hal ini disebabkan karena pendinginan cepat pada pengelasan bawah air, sehingga terbentuklah martensit. *Base metal* struktur mikronya terdiri dari sebagian besar ferit dan sebagian perlit. Pada daerah ini tidak terjadi perubahan struktur mikro karena tidak mendapat pengaruh panas yang cukup untuk bertransformasi. Karena tidak terjadi perubahan struktur mikro maka sifat mekaniknya juga tidak berubah.

4.5. Pengujian Kekerasan

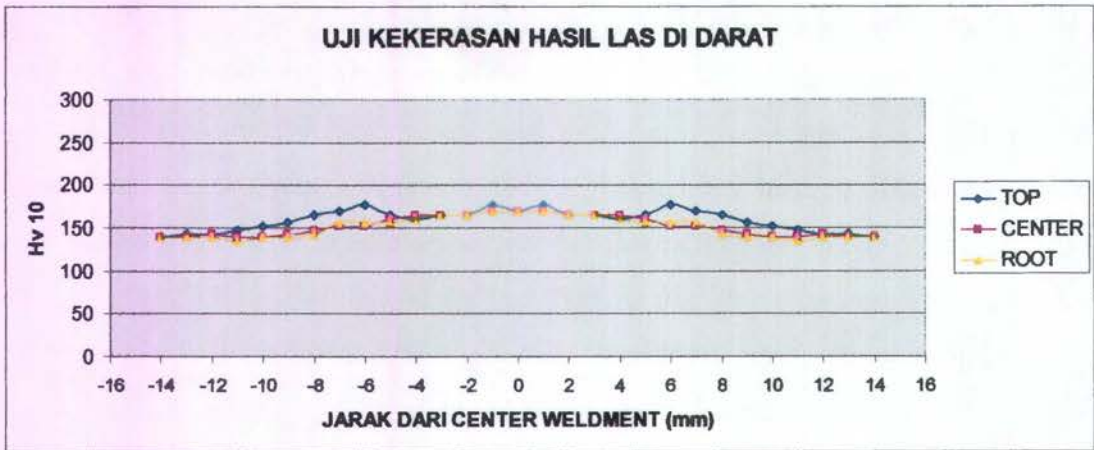
4.5.1. Hasil Uji Kekerasan

Pengujian kekerasan ini dilakukan dengan metode *Hardness Vickers* indentasi Hv 10. Dari pembacaan tabel kekerasan, didapatkan nilai indeks kekerasan untuk masing-masing spesimen di setiap titiknya (data indeks kekerasan dapat dilihat pada lampiran B).

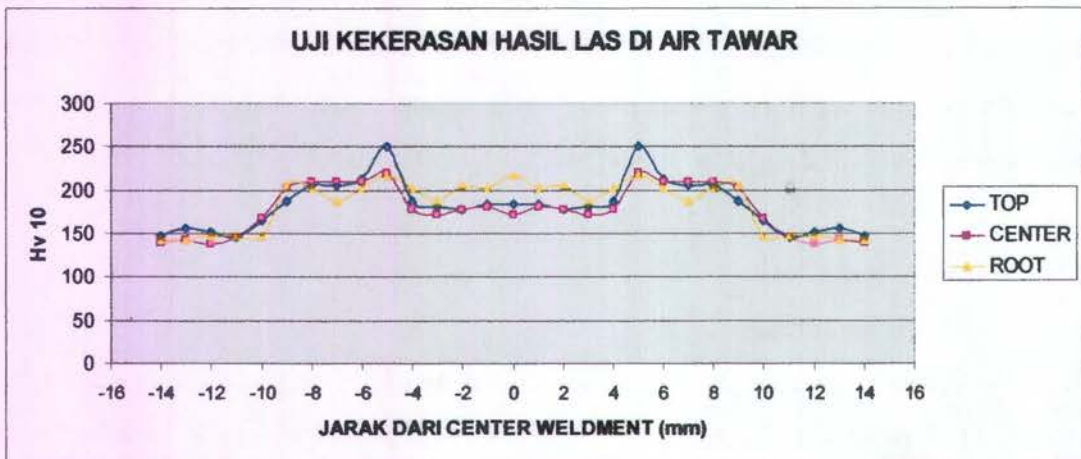


Gambar 4.13. Daerah Pengujian Kekerasan

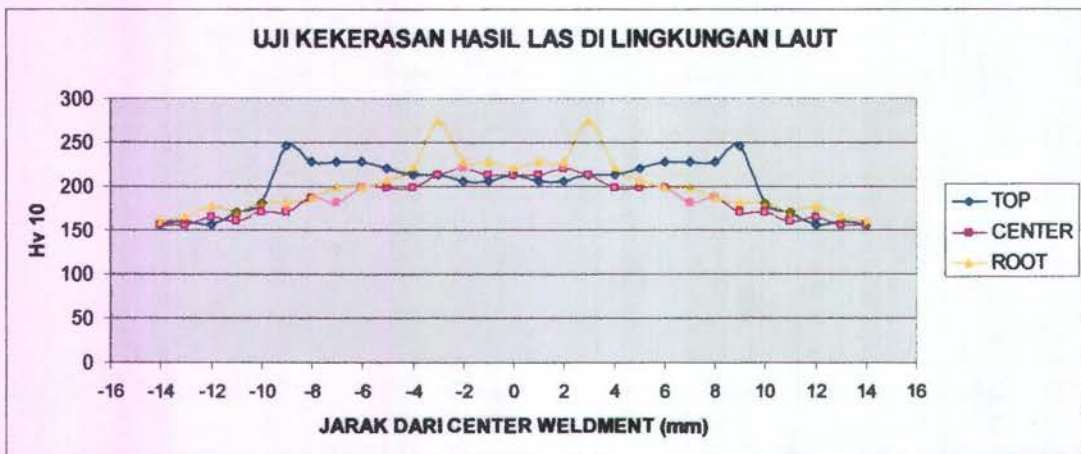
Selanjutnya dari data indeks kekerasan tersebut diplot grafiknya. Adapun gambar grafik distribusi kekerasannya adalah sebagai berikut:



Gambar 4.14. Grafik Distribusi Kekerasan Hasil Las di Darat



Gambar 4.15. Grafik Distribusi Kekerasan Hasil Las di Air Tawar



Gambar 4.16. Grafik Distribusi Kekerasan Hasil Las di Lingkungan Laut

Tabel 4.5 : Nilai Kekerasan Rata-Rata

DAERAH	H ₁	H ₂	H ₃
<i>Top</i>	159.1	182.7	201.21
<i>Center</i>	151.92	178	185.9
<i>Root</i>	150.87	182.69	199
Rata-Rata	153.9632	181.13	195.37



Gambar 4.17. Perbandingan Nilai Kekerasan Per Daerah Pengelasan

4.5.2. Pembahasan Uji Kekerasan:

Harga kekerasan maksimum ada pada daerah *HAZ*. Harga kekerasan mulai dari yang paling tinggi sampai yang paling rendah secara berurutan adalah spesimen H₃, H₂, H₁. Secara umum, semakin dekat menuju base metal, indeks kekerasan semakin menurun halus. Hal ini sesuai dengan kecepatan pendinginan yang dialami masing-masing titik indentasi. Pada pengujian ini, daerah lasan yang memiliki harga kekerasan maksimum adalah daerah *HAZ* dekat *fusion line*. Ini disebabkan pada daerah ini butir austenit yang dimiliki merupakan butir austenit terbesar, juga adanya martensit. Disamping itu, daerah ini memiliki kecepatan pendinginan pengelasan yang paling cepat sehingga ferit proeutektoid yang terbentuk dari austenit tidak sempat bertransformasi menjadi halus, demikian pula dengan perlit yang terbentuk.

4.6. Validasi

- ✓ Nilai kekuatan tarik *weld joint* material yang dilas di media air menjadi lebih tinggi. Hasil ini didukung dengan penelitian sebelumnya oleh Nugroho melalui penelitiannya yang berjudul “Analisa Kedalaman Air Terhadap Hasil Pengelasan”. Nugroho menyatakan bahwa kekuatan tarik sambungan las material cenderung menaik pada kedalaman 1-3 meter, dan cenderung menurun pada kedalaman 4-6 meter kebawah.

- ✓ Nilai kekerasan yang paling tinggi pada penelitian ini adalah 274 (Hv10). Hasil ini diperkuat oleh Feelus melalui jurnal penelitiannya yang berjudul “*Underwater Welding Explained-Wet Welding*” menyatakan bahwa nilai kekerasan material baja *mild steel* yang dilas di bawah air dengan menggunakan elektroda AWS E-6013 adalah tidak lebih besar dari 325 (Hv10).

- ✓ Pengaruh kandungan garam (ion klorida) terhadap hasil las-lasan:

Secara meluas telah diketahui bahwa NaCl adalah senyawa garam yang selalu dijumpai terutama di lingkungan laut, dan senyawa ini bersifat korosif. Menurut McCright *et al* (1996), korosi pada *weld joint* biasanya terjadi karena perbedaan potensial elektrokimia antara *weld metal* dengan logam induk. Pengaruh korosi pada sambungan las rentan terjadi seiring dengan meningkatnya kadar Mangan (Mn) dan kandungan karbon (C). Peningkatan kandungan Mn berdampak pada fase pembentukan di daerah HAZ, dalam hal ini sama dengan peningkatan kecepatan pendinginan. Saat *heat input* berkurang, kandungan Mn pada logam induk meningkat, austenit akan terdekomposit di temperatur rendah dan menghasilkan *metastable microstructure* yang mengandung *upper bainite* dengan kemunculan austenit atau martensit. Dekomposisi temperatur rendah seperti kondisi pengelasan bawah air akan menghasilkan *lattice defect* (seperti dislokasi dan *point defect*) dalam jumlah lebih besar dibandingkan dengan *anequi-axed ferritic-pearlitic microstructure* yang terbentuk pada pengelasan kondisi biasa.

Pada penelitian Tugas Akhir ini didapat bahwa nilai kekuatan tarik hasil pengelasan bawah air di lingkungan laut sebesar 49,44 Kgf/mm² dan kekuatan tarik hasil pengelasan di air tawar adalah 49,41 Kgf/mm² (selisih kekuatan tariknya sangat kecil, hanya 0,03 Kgf/mm²). Dari hal ini diindikasikan bahwa pengaruhnya kadar garam tidak terlalu signifikan. Pernyataan ini diperkuat oleh Hanninen *et al* (2006) yang melakukan penelitian sifat mekanik pada *weld nugget* dengan *spot welding* pada ruangan yang dikondisikan sesuai dengan lingkungan laut 3,5%. Berdasarkan tes SRRT (*Slow Strain Rate Test*) serta pengamatan metalografi dan *feritscope*, dikatakan bahwa perubahan sifat mekanik lebih diindikasikan dari banyaknya *hydrogen embrittlement* dan kondisi *weld nugget* yang tampak banyak fase butiran martensitnya.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Dari penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa:

1. Melalui pengamatan metalografi pada struktur mikro, tampak bahwa fase martensit pada hasil pengelasan di lingkungan laut lebih banyak daripada hasil las di air tawar dan di darat. Dari pengamatan struktur makro, pada pengelasan bawah air banyak terlihat adanya *hydrogen embrittlement* akibat proses disosiasi air selama proses pengelasan.
2. Nilai kekerasan material yang di las di lingkungan laut lebih besar dibanding kekerasan material yang di las di air tawar dan di darat. Hal ini disebabkan karena pengaruh banyaknya fase martensit pada struktur mikro.
3. Kekuatan tarik material yang di las di lingkungan laut sedikit lebih tinggi dibandingkan kekuatan tarik di hasil pengelasan di air tawar (selisih 0,03 Kgf/mm²) dan di darat. Akan tetapi tingkat keuletannya lebih kecil dibanding pengelasan di air tawar dan di darat, hal ini ditandai dengan kecilnya elongasi dan reduksi penampang material hasil las di lingkungan laut dibandingkan dengan pengelasan di air tawar maupun darat.

5.2. Saran

1. Pada penelitian ini, posisi pengelasan adalah 1G (datar). Untuk penelitian selanjutnya, dapat dilakukan dalam posisi pengelasan seperti 2G atau 3G.
2. Elektroda yang digunakan pada penelitian ini adalah jenis AWS E-6013 yang dilapisi dengan lilin. Untuk penelitian lebih lanjut, dapat dilakukan dengan elektroda lain atau variasi *coating* yang lain.
3. Hendaknya dilakukan pengujian yang lainnya seperti: uji *impact*, uji *fracture toughness*, uji *fatigue*, dan lain sebagainya.

DAFTAR PUSTAKA

- ASME. (1995). **American Society of Mechanical Engineers Section IX**. USA: The American Society of Mechanical Engineers.
- ASM. (1971). **Metal handbook Vol. 6, 8th edition**. American Society for Metals.
- ASM. (1971). **Metal handbook Vol.7, 8th edition**. American Society for Metals.
- ASTM. (2003). **Annual Book Of ASTM Standard Vol. 03.01**. Philadelphia: ASTM Publishing.
- AWRA (1982). **Technical Note 1: The Weldability of Steels**. Australia: Australian Welding Research Association.
- AWS. (2004). **American Welding Society**. Miami-Florida: American Welding Society.
- Avner, S. (1974). **Introduction to Physical Metallurgy**. Singapore: Mc Graw Hill
- Beumer, B. (1985). **Ilmu Bahan Logam Jilid I**. Jakarta: Bhratara Karya Aksara.
- Feelus, P. (2000). **Journal Noordhoek Offshore BV: "Underwater Welding Explained-Wet Welding"** . UCI.
- Giachino, J. (1976). **Welding Skills and Practices**. Chicago : American Technical Society.
- Hanninen et al. (2006). **Welding Journal: "Exploring the Mechanical Properties of Spot Welded Dissimilar Joints for Stainless and Galvanized Steels"**. Fifth European Community Framework Program and European Industry.
- Hendroprasetyo, W. (2005). **Dasar-Dasar Pengelasan & Geometri Sambungan Las**. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Joshi, A. (2000). **Journal Research Fellow: Underwater Welding**. Mechanical Engineering Departement. Indian Institute of Technology.
- McCright *et al.* (1996). **DOE Journal: Degradation Mode Survey Galvanic Corrosion of Candidate Metallic Materials for High-Level Radioactive Waste Disposal Containers**. California: University of California.
- Musaikan, H. (2002). **Diktat Teknik Las**. Jurusan Teknik Mesin. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

- Nugroho.(1988). **Tugas Akhir**: "Analisa Kedalaman Terhadap Hasil Pengelasan".
Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Pratikno,H. (2004). **Tesis**: "Perencanaan dan Percobaan *Girth Weld* Material
Cladding untuk Pipa Offshore". Bandung: Institut Teknologi Bandung.
- Setiyo, A. (2007). **Tugas Akhir** : "Analisa Kekuatan Daerah Persilangan Alur Las
dengan Variasi Bentuk Kampuh Las pada Material *Mild Steel* dengan
Pengelasan SMAW". Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- U.S. Navy. (2002). **Underwater Cutting and Welding Manual**. USA: Direction
of Commander, Naval Sea System Command.
- Widharto, S. (2001). **Petunjuk Kerja Las**. Cetakan keempat. Jakarta: PT.
Pradnya Paramita.
- Wiryo Sumarto, H. (1996). **Teknologi Pengelasan Logam**, Cetakan Ketujuh.
Jakarta: PT. Pradnya Paramita.

LAMPIRAN A

VISUALISASI HASIL PENGELASAN

LAMPIRAN A

Visualisasi Hasil Pengelasan



Gambar A-1. Hasil Pengelasan di Lingkungan Laut



Gambar A-2. Hasil Pengelasan di Air Tawar



Gambar A-3. Hasil Pengelasan di Darat

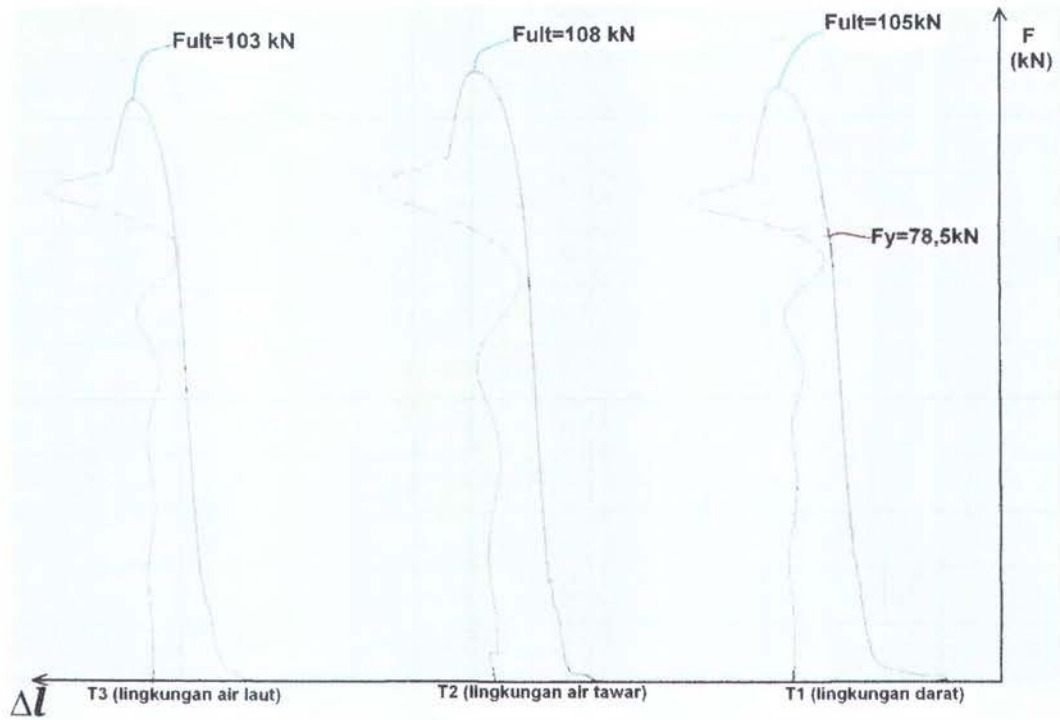
LAMPIRAN B

DATA-DATA PENELITIAN

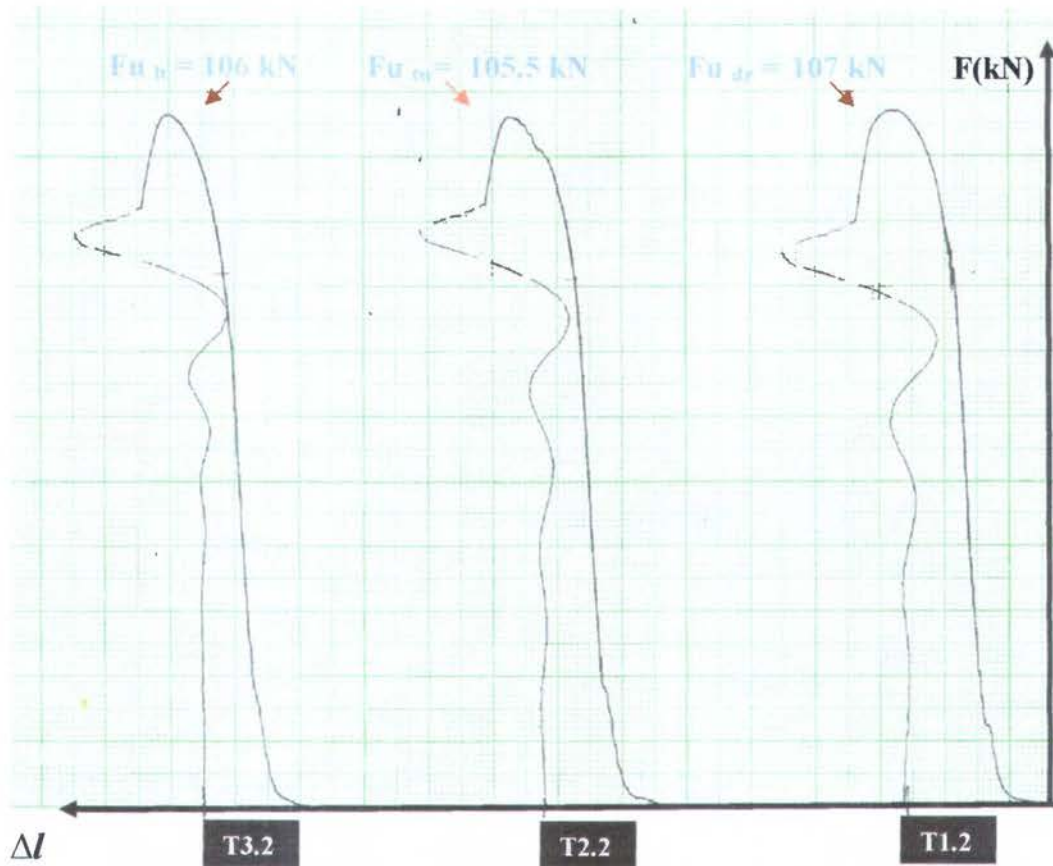
B1- Data Hasil Uji Tarik

B2- Data Hasil Uji Kekerasan Vickers

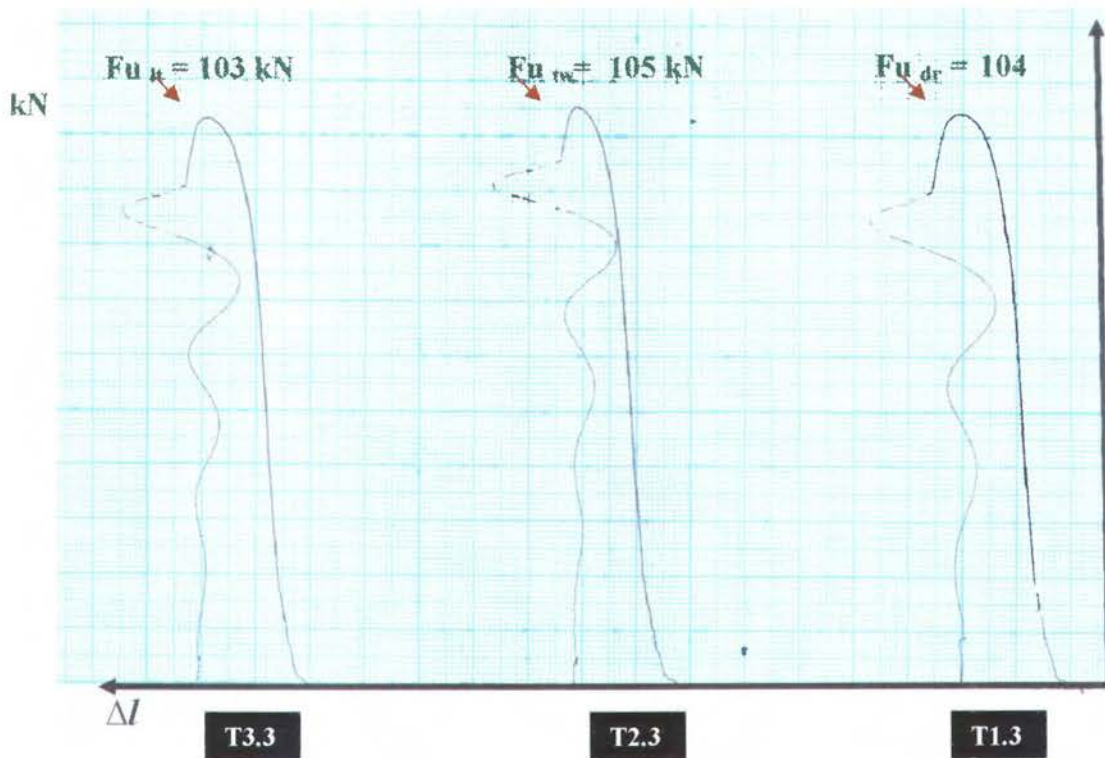
LAMPIRAN B₁
Data Hasil Uji Tarik



Gambar B1-1. Grafik Gaya Tarik Hasil Uji Tarik 1



Gambar B1-2. Grafik Gaya Tarik Hasil Uji Tarik 2



Gambar B1-3. Grafik Gaya Tarik Hasil Uji Tarik 3

LAMPIRAN B₂

Data Hasil Uji Kekerasan Vickers

Indeks Kekerasan Hasil Las di Darat

Code: H ₁		Hv 10	
NO.	TOP	CENTER	ROOT
-14	139.2	139.2	139.2
-13	143.1	139.2	139.2
-12	143.1	143.1	139.2
-11	147.1	139.2	135.5
-10	151.4	139.2	139.2
-9	156	143.1	139.2
-8	165	147.1	143.1
-7	170	151.4	156
-6	176	151.4	156
-5	165	160	156
-4	160	165	160
-3	165	165	165
-2	165	165	165
-1	176	170	170
0	170	170	170
1	176	170	170
2	165	165	165
3	165	165	165
4	160	165	160
5	165	160	156
6	176	151.4	156
7	170	151.4	156
8	165	147.1	143.1
9	156	143.1	139.2
10	151.4	139.2	139.2
11	147.1	139.2	135.5
12	143.1	143.1	139.2
13	143.1	139.2	139.2
14	139.2	139.2	139.2

Indeks Kekerasan Hasil Las di Lingkungan Laut

Code: H ₃		Hv 10	
NO.	TOP	CENTER	ROOT
-14	156	156	160
-13	160	156	165
-12	156	165	176
-11	170	160	170
-10	181	170	181
-9	245	170	181
-8	228	187	187
-7	228	181	199
-6	228	199	199
-5	221	199	206
-4	213	199	221
-3	213	213	274
-2	206	221	228
-1	206	213	228
0	213	213	221
1	206	213	228
2	206	221	228
3	213	213	274
4	213	199	221
5	221	199	206
6	228	199	199
7	228	181	199
8	228	187	187
9	245	170	181
10	181	170	181
11	170	160	170
12	156	165	176
13	160	156	165
14	156	156	160

LAMPIRAN C

FOTO PENELITIAN

LAMPIRAN C

Foto Penelitian



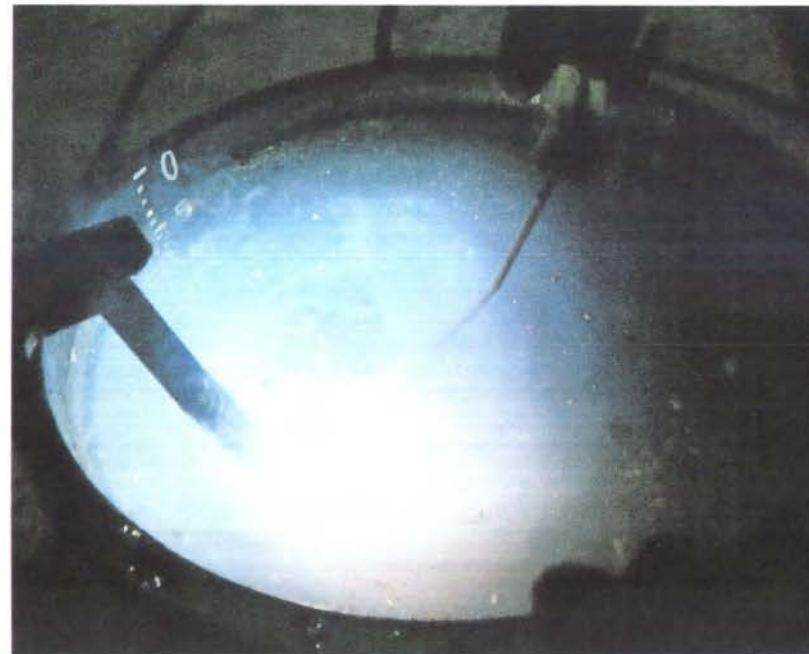
Gambar C-1. Penyimpanan Larutan Pengganti Air Laut (ASTM D1141-90)



Gambar C-2. Wadah Pengelasan Dengan Media Air



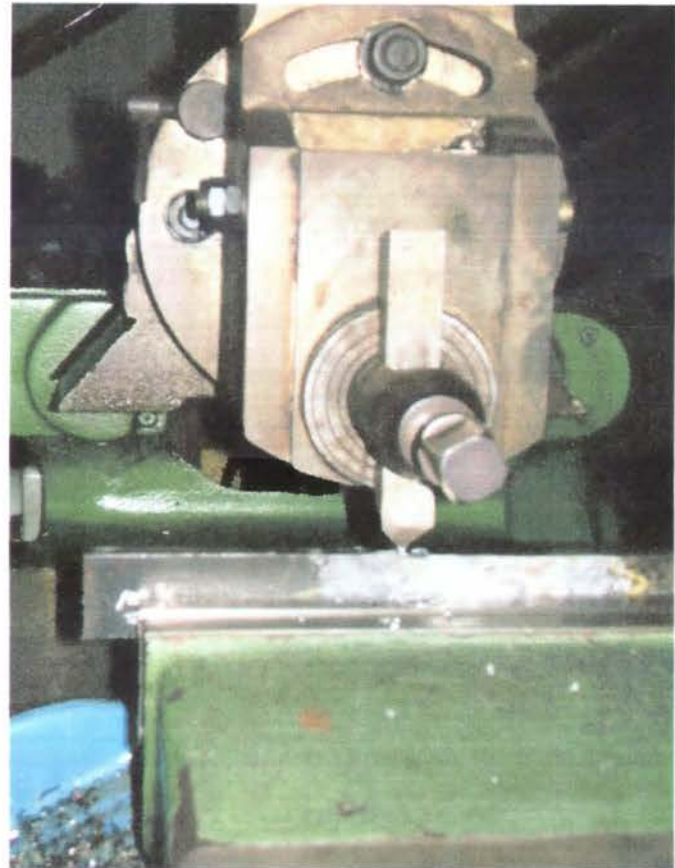
Gambar C-3. Sesaat Sebelum Pengelasan di Media Air



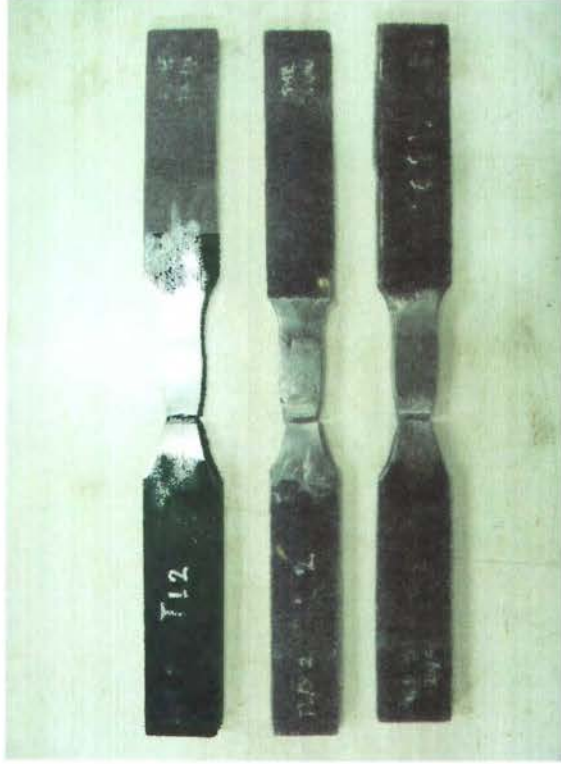
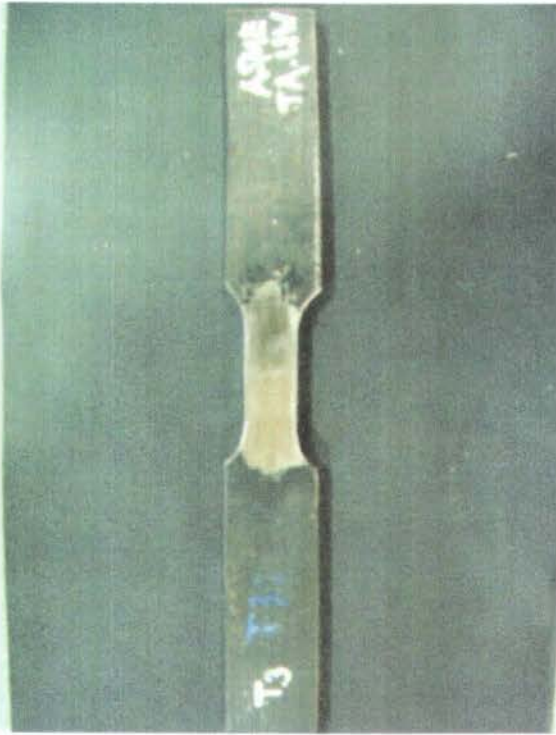
Gambar C-4. Pada Saat Pengelasan di Media Air Berlangsung



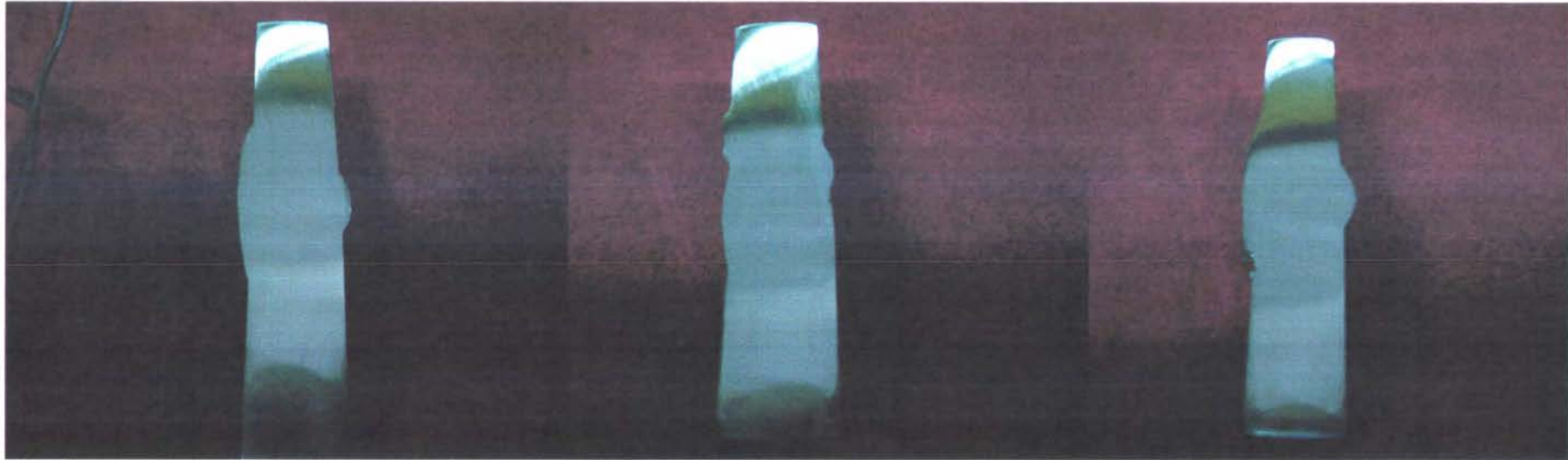
Gambar C-5. Proses Pemotongan Material Hasil Lasan



Gambar C-6. Proses Pembuatan Spesimen Uji Dibantu Mesin



Gambar C-7. Contoh Spesimen Uji Tarik Sebelum Uji (Kiri) dan Sesudah Uji (Kanan)



Gambar C-8. Spesimen untuk Uji Kekerasan dan Spesimen untuk Foto baik Makro maupun Mikro Hasil Las di Darat (Kiri), Hasil Las di Air Tawar (Tengah), Hasil Las di Lingkungan Laut (Kanan)

LAMPIRAN D

PERALATAN PENUNJANG PENELITIAN

LAMPIRAN D

Peralatan Penunjang Penelitian



Gambar D-1. Mesin Las SMAW Merek ESAB LHE 300 dengan Tang Massa (*Work Lead*) dan *Electrode Holder*



Gambar D-2. Sarung Tangan dan Masker Pelindung



Gambar D-3.
(gambar kiri atas)
Mesin Uji Tarik

Gambar D-4.
(gambar kanan atas)
Seperangkat Alat Pengambilan
Foto Mikro



Gambar D-5.
(gambar kiri bawah)
Shaping Machine

Gambar D-6.
(gambar kanan bawah)
Mesin Pemotong Spesimen





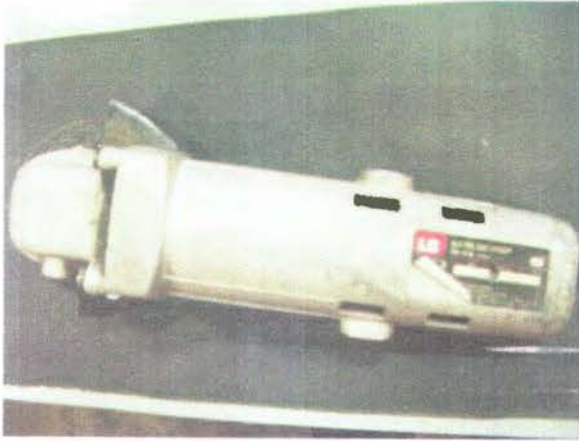
Gambar D-7.
(dari kiri ke kanan)
Tang Penjepit Logam,
Chipping Hammer,
Sikat Baja.



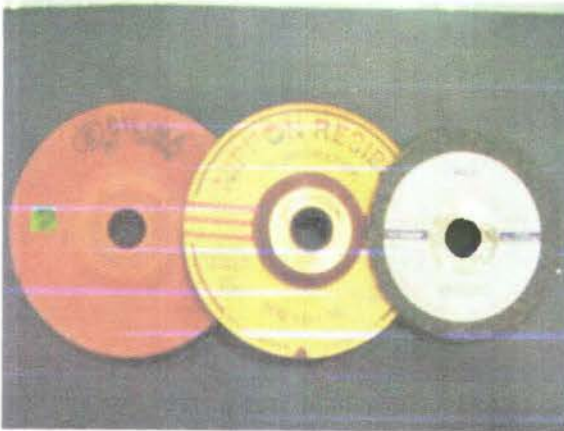
Gambar D-8.
(dari atas ke bawah)
Alat Penanda,
Kikir Mini (kotak),
Kikir Mini (bulat),
Jangka Sorong.



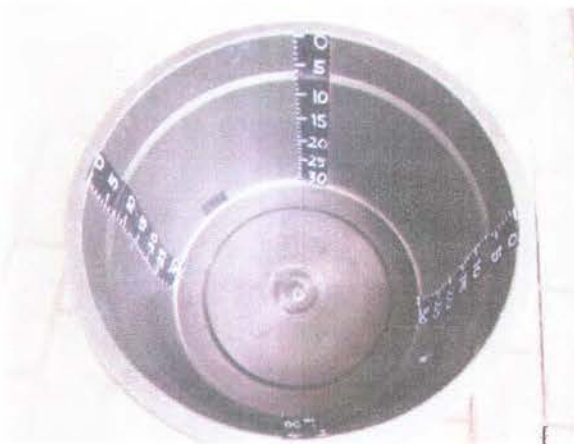
Gambar D-9.
Gergaji Pemotong.



Gambar D-10.
Alat Penggerinda.



Gambar D-11.
Batu Gerinda.



Gambar D-12.
Bak Pengelasan.

The background of the page is a repeating pattern of the ITS logo. Each logo consists of a circular emblem with a stylized figure inside, followed by the text 'ITS' in a bold, sans-serif font, and 'Institut Teknologi Sepuluh Nopember' in a smaller font below it. The logos are arranged in a grid-like pattern across the entire page.

LAMPIRAN E

KALIBRASI ALAT



DEPARTEMEN PERINDUSTRIAN RI
BADAN PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN INDUSTRI
BALAI BESAR BAHAN DAN BARANG TEKNIK

Jl. Sangkuriang No. 14 Bandung 40135 JAWA BARAT - INDONESIA
Telp. 022 - 2504088, 2510682, 2504828, 2507626 Fax. 022 - 2502027
E-mail : b4t@bdg.centrin.net.id Website : http://www.b4t.go.id



B4T - KAL - MMVII - 05691

SERTIFIKAT KALIBRASI
CALIBRATION CERTIFICATE

Nomor : 3-09-07 - 0059
Number

ALAT

Equipment

1. Nama Name	: Mesin Uji Universal	2. Kapasitas Capacity	: 200 kN
3. Tipe/Model Type/Model	: UPD-20	4. Nomor Seri Serial Number	: 8877
5. Merek/Buatan Manufacture	: MFL SYSTEME/ Germany	6. Ukuran Dalam Internal Dimension	: -
7. Pengontrol Suhu Temperature Control	: -	8. Lain-lain Other	:

PEMILIK

Owner

1. Nama
Name : INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
2. Alamat
Address : Lab. Konstruksi dan Kekuatan, Jurusan Teknik Perkapalan,
Fakultas Teknologi Kelautan,
Gedung W, Lt. I, Kampus ITS, Sukolilo - Surabaya

STANDAR

Standard

1. Nama
Name : Proving Ring No : 5223, 7368, 7367
2. Ketelusuran
Traceability : Hasil kalibrasi yang dilaporkan tertelusur kesatuan pengukuran SI melalui Puslit KIM-LIPI. Serpong

TANGGAL DITERIMA : 17 Januari 2007
Date of acceptance

TANGGAL KALIBRASI : 18 Januari 2007
Date of Calibration

KONDISI LINGKUNGAN KALIBRASI : Suhu udara : 27,6 °C - 27,8 °C
Environment condition of Calibration

LOKASI KALIBRASI : Laboratorium Konstruksi & Kekuatan Fakultas Teknik Kelautan ITS Surabaya
Location of Calibration

METODA KALIBRASI : PC-309-07
Calibration method

ACUAN : BS EN ISO 7500 : 1 : 1999
Reference

HASIL KALIBRASI DAN KETIDAKPASTIAN KALIBRASI
Result of Calibration and uncertainty of Calibration

(Terlampir)
(Attached)

DITERBITKAN TANGGAL : 30 Januari 2007



LABORATORIUM KALIBRASI
Manajer Teknik,

Budi Susanto
NIP. 090009983

Halaman 1 dari 3

Keterangan : 1. Laboratorium ini di akreditasi oleh Komite Akreditasi Nasional (KAN) No. LK-022-IDN.
2. Dilarang memproduksi sertifikat ini tanpa izin tertulis dari B4T kecuali secara keseluruhan
3. Hasil kalibrasi ini tidak untuk diumumkan dan hanya berlaku untuk alat yang bersangkutan.



LAMPIRAN SERTIFIKAT KALIBRASI
Attachment of Calibration Certificate

Nomor : 3-09-07-59
 Number

1. HASIL KALIBRASI :
Result of Calibration

Posisi Tekan

Resolusi Relatif : 0,13 %						
Kesalahan Nol relatif : 0 %						
Julat Ukur (kN)	Penunjukan Mesin (kN)	Penunjukan Standar		Kesalahan Relatif		Ketidakpastian Pengukuran (%)
		Sebelum Disetel (kN)	Setelah Disetel (kN)	Ketelitian (%)	Mampu Ulang (%)	
0-200	40	40,19	40,19	-0,47	0,27	± 0,38
	80	80,05	80,05	-0,06	0,14	
	120	120,08	120,08	-0,07	0,07	
	160	159,96	159,96	+0,03	0,10	
	190	190,34	190,34	-0,18	0,11	

Posisi Tekan

Resolusi Relatif : 0,10 %						
Kesalahan Nol relatif : 0 %						
Julat Ukur (kN)	Penunjukan Mesin (kN)	Penunjukan Standar		Kesalahan Relatif		Ketidakpastian Pengukuran (%)
		Sebelum Disetel (kN)	Setelah Disetel (kN)	Ketelitian (%)	Mampu Ulang (%)	
0-100	20	20,09	20,09	-0,45	0,25	± 0,36
	40	40,14	40,14	-0,35	0,12	
	60	59,89	59,89	+0,18	0,13	
	80	79,84	79,84	+0,20	0,14	
	90	90,09	90,09	-0,10	0,14	

*) Ketidakpastian yang dilaporkan adalah ketidakpastian bentangan pada tingkat kepercayaan 95 % dengan faktor cakupan k= 2.

Keterangan : 1. Laboratorium ini di akreditasi oleh Komite Akreditasi Nasional (KAN) No. LK-022-IDN.
 2. Dilarang memproduksi sertifikat ini tanpa izin tertulis dari B4T kecuali memproduksi secara keseluruhan
 3. Hasil kalibrasi ini tidak untuk diumumkan dan hanya berlaku untuk alat yang bersangkutan





LAMPIRAN SERTIFIKAT KALIBRASI
Attachment of Calibration Certificate

Nomor : 3-09-07-59
 Number

2. **HASIL KALIBRASI :**
Result of Calibration

Posisi Tekan

Resolusi Relatif : 0,20 %						
Kesalahan Nol relatif : 0 %						
Julat Ukur (kN)	Penunjukan Mesin (kN)	Penunjukan Standar		Kesalahan Relatif		Ketidakpastian Pengukuran (%)
		Sebelum Disetel (kN)	Setelah Disetel (kN)	Ketelitian (%)	Mampu Ulang (%)	
0-40	5	5,025	5,025	-0,50	0,16	± 0,38
	10	10,040	10,040	-0,40	0,17	
	15	15,045	15,045	-0,30	0,13	
	20	19,915	19,915	+0,43	0,24	
	25	24,990	24,990	+0,04	0,10	
	30	29,937	29,937	+0,21	0,16	
	35	34,895	34,895	+0,30	0,07	
	38	37,908	37,908	+0,24	0,04	

Posisi Tekan

Resolusi Relatif : 0,13 %						
Kesalahan Nol relatif : 0 %						
Julat Ukur (kN)	Penunjukan Mesin (kN)	Penunjukan Standar		Kesalahan Relatif		Ketidakpastian Pengukuran (%)
		Sebelum Disetel (kN)	Setelah Disetel (kN)	Ketelitian (%)	Mampu Ulang (%)	
0-20	4	4,016	4,016	-0,40	0,15	± 0,37
	8	8,035	8,035	-0,44	0,10	
	12	12,021	12,021	-0,17	0,07	
	16	16,076	16,076	-0,47	0,06	
	19	19,072	19,072	-0,38	0,10	

*) Ketidakpastian yang dilaporkan adalah ketidakpastian bentangan pada tingkat kepercayaan 95 % dengan faktor cakupan k= 2.

Evaluasi : Mesin uji universal tersebut termasuk kelas 1 untuk julat ukur 200 kN turun sampai 40 kN, 100 kN turun sampai 20 kN, 40 kN turun sampai 5 kN, 20 kN turun sampai 4 kN memenuhi persyaratan BS EN ISO 7500: 1 : 1999

Keterangan : 1. Laboratorium ini di akreditasi oleh Komite Akreditasi Nasional (KAN) No. LK-022-IDN.
 2. Dilarang memproduksi sertifikat ini tanpa izin tertulis dari B4T kecuali memproduksi secara keseluruhan
 3. Hasil kalibrasi ini tidak untuk diumumkan dan hanya berlaku untuk alat yang bersangkutan



BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Malang, 29 November 1984, merupakan anak kedua dari empat bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal yaitu di TK Aisyiah Bustanul Athfal IX Malang, SDN Kauman I Malang, SLTP Negeri 1 Malang dan SMU Negeri 3 Malang. Setelah lulus dari SMUN tahun 2003, penulis mengikuti Program PMDK Reguler ITS dan diterima di Jurusan Teknik Kelautan FTK-

ITS pada tahun 2003 dan terdaftar dengan NRP 4303 100 001. Penulis sempat aktif di beberapa kegiatan seminar dan pelatihan yang diselenggarakan oleh Jurusan, Himpunan Mahasiswa Jurusan (HMJ) Teknik Kelautan, serta organisasi yang lainnya. Penulis juga sempat aktif di berbagai organisasi kemahasiswaan seperti HMJ, UKM Olahraga Air, UKM Teater. Penulis pernah menjabat sebagai Presiden Lembaga Minat dan Bakat (LMB-ITS) di tingkatan institut, Sekretaris umum UKM Olahraga Air ITS. Penulis juga pernah aktif sebagai Grader Mata Kuliah Sistem Operasi kelautan.