

## KARAKTERISASI HASIL PENGELASAN BAWAH AIR MATERIAL BAJA ST 37 DENGAN MEDIA AIR LAUT DAN AIR TAWAR

### CHARACTERIZATION OF UNDERWATER WELDING OF STEEL ST 37 MATERIALS UNDER SEA AND FRESHWATER MEDIA

<sup>1)</sup>Agus Hariyanto <sup>2)</sup>Agus Dwi Anggono, <sup>3)</sup>Tommy Prasetyawan

<sup>1,2,3)</sup>Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik

Universitas Muhammadiyah Surakarta

Jl. Ahmad Yani PO.BOX 1 Pabelan Surakarta 57162

\*Email: ah204@ums.ac.id

#### ABSTRAK

Lingkup penggunaan teknik pengelasan modern meliputi perkapalan, konstruksi anjungan minyak lepas pantai, pipa-pipa penyalur gas alam, pressure vessel, dan lain sebagainya. Konstruksi baja anjungan minyak lepas pantai harus bias bertahan lebih dari 25 tahun. Selama itu konstruksi anjungan minyak kadang mengalami kejadian yang tidak terduga, yang mengharuskan untuk diperbaiki. Pengelasan dalam air dipilih dari sekian banyak cara perbaikan karena teknik perbaikan gampang dilakukan dan biaya yang murah, maka dari itu teknik perbaikan ini meningkat penggunaannya sehingga banyak penelitian tentang pengelasan dalam air mengenai kualitas sambungan las pengelasan bawah air dan kekuatan sambungan las. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kekuatan, kekerasan, dan analisa foto mikro dan makro dari sambungan las baja ST 37 yang di las di dalam air tawar, air laut, dan di darat. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa sambungan las Baja ST 37 yang di las didalam air laut mempunyai tegangan Tarik maksimum paling tinggi yaitu sebesar 323,56 MPa dengan regangan 15,99%, dan paling rendah pengelasan di dalam air tawar sebesar 323,56 MPa dengan regangan 15,06%. Nilai kekerasan paling tinggi pada pengelasan air tawar 253,4 VHN, paling rendah pada pengelasan darat sebesar 184,3 VHN hal ini didukung dengan analisa foto mikro pada pengelasan air tawar struktur mikro lebih kecil dari pada pengelasan darat.

**Kata Kunci :** Pengelasan, Pengelasanbawah air, Baja ST 37

#### PENDAHULUAN

Pada akhir abad ke-19 teknik pengelasan mulai berkembang dengan pesat. Hal ini disebabkan karena ditemukannya cara penggunaan tenaga listrik sebagai sumber panas dalam pengelasan. Sejak perang dunia kedua, telah banyak cara-cara pengelasan dengan tenaga listrik sebagai sumber panas yang ditemukan. Sehingga pada saat ini hampir semua penyambungan logam untuk segala macam konstruksi dapat dilakukan dengan menggunakan proses pengelasan. Lingkup penggunaan teknik pengelasan dalam konstruksi sangat luas, meliputi perkapalan, bangunan *super tanker*, pipa-pipa penyalur gas alam, *pressure vessel*, anjungan minyak lepas pantai, dan lain sebagainya. Berbagai metode pengelesan telah banyak diteliti oleh peneliti untuk meningkatkan kekuatan tariknya (Anggono, Widodo, Riyadi, Triyoko, & Hariyanto, 2018; E & Anggono, 2017; PI & Anggono, 2017).

Konstruksi baja anjungan minyak lepas pantai harus bias bertahan lebih dari 25 tahun (Guo, Xu, Du, Wang, & Feng, 2016), Selama itu konstruksi anjungan minyak membutuhkan perbaikan dari (Fydrych, Rogalski, & Labanowski, 2014) :

1. Korosi
2. Kegagalan konstruksi
3. Kesalahan saat perakitan Konstruksi
4. Desain yang salah

Pengelasan dalam air (*underwater wet welding*) dipilih dari sekian banyak cara perbaikan di karenakan teknik perbaikan ini relative gampang dilakukan dan peralatan yang digunakan sedikit di banding teknik yang lain, secara tidak langsung mempengaruhi biaya perbaikan dan waktu operasi sehingga teknik perbaikan pengelasan bawah air (*Underwater wet welding*) meningkat penggunaannya (Rowe,2002). Kekuatan sambungan las menjadi sangat penting peranya dalam perbaikan menggunakan teknik pengelasan bawah air, ini di buktikan meningkatnya penelitian tentang kekuatan sambungan las pada pengelasan bawah air (Chen, Kitane, & Itoh, 2010; Haryadi, 2007; Supriadi, 2009)

(Supriadi, 2009), Dalam penelitiannya menjelaskan bahwa pengelasan baja ST 42 dibawah air dengan metode *wet underwater SMAW Welding* dan di darat menunjukkan perbedaan dari pengujian tarik. Pada pengelasan bawah air kekuatan maksimum sambungan baja ST 42 sebesar  $\sigma_{ult} = 590,22$  N/mm<sup>2</sup>. Hal ini disebabkan karena pada pengelasan dibawah air laut unsur paduan didalam bahan tersebut persenyawaanya tidak besar terhadap unsur yang lain, namun keuletanya rendah ( $\epsilon = 1,6$  %). Sedangkan yang pengelasan di darat mempunyai kekuatan maksimum  $\sigma_{ult} = 438,12$  N/mm<sup>2</sup> dengan keuletan yang lebih besar ( $\epsilon = 3,9$  %). Pada pengujian kekerasan, didapat bahwa pengelasan dibawah air lebih keras dibanding pengelasan di darat yaitu sebesar 200, 1 VHN dan 184,3 VHN hal ini di sebabkan ada unsur penguat yaitu air garam (NaCl). Pengaruh proses pengelasan di laut menghasilkan regangan yang lebih rendah bila dibandingkan dengan pengelasan di darat jadi proses pengelasan dilaut menghasilkan sambungan las yang getas.

(Haryadi, 2007), Dalam penelitiannya mengungkapkan bahwa pengelasan di bawah air laut lebih ulet daripada di bawah air tawar yaitu sebesar 45,45 kg/mm<sup>2</sup> dan 29,17 kg/mm<sup>2</sup>. Pada media air tawar nilai kekerasannya lebih tinggi yaitu sebesar 244,9 HVN dibanding pengelasan media air laut sebesar 137,7 HVN.

(Chen et al., 2010), Dalam penelitiannya mengungkapkan bahwa pengelasan dibawah air mempunyai kekuatan yang lebih besar tapi keuletannya lebih rendah pada pengelasan di darat. Peningkatan kekuatan bervariasi dari 6,9% sampai 41% tergantung pada baja yang akan di las. Ketika orientasi pengelasannya di ganti yang semula melintang menjadi ber orientasi memanjang dan kekuatan meningkat mendekati dua kali lipat 23,7% sampai 41,0% pada baja SY 295, menjadi tiga kali lipat dari 6,9% sampai 21,3% pada baja STK 400 dan tidak berubah pada baja SYW 295. Kekerasan pengelasan bawah air lebih keras dengan skala HAZ daripada pegelasan di darat, dikhususkan untuk plat yang digunakan untuk memperbaiki tiang penyangga platform, kekerasan maksimum dan carbon dari bahan utama menunjukkan korelasi yang positif. Ketebalan bahan utama menunjukkan sedikit pengaruh kekerasan pada pengelasan bawah air, yang mana berbeda dengan yang di darat.

(Fydrych et al., 2014), Dalam Penelitiannya mengungkapkan sambungan baja S355J2G3 dan S500M, yang di buat di bawah air dengan di kondisikan menahan suatu beban menunjukkan kerentanan untuk menjadi retakan pada sambungan. Kekerasan maksimum dalam HAZ (*Heat affected zone*) dari sambungan baja S500M tidak lebih dari 300HV, dan pada sambungan baja S355J2G3 melebihi 400VHN. Ternyata teknik TBW (*Temper Bead Welding*) efektif untuk menyambung baja berkekuatan tinggi dengan proses *Underwater Wet Welding*, hasil pengaplikasian teknik TBW terbukti dalam menurunnya kekerasan maksimum sambungan baja S355J2G3 yaitu dibawah 350 HV

Tujuan dari penelitian ini adalah agar dapat mengetahui lebih jelas mengenai kekuatan sambungan las yang di las di dalam air laut, di dalam air tawar, dan di darat. Sambungan las akan di uji tarik untuk mengetahui kekutan tariknya, di uji kekerasan untuk mengetahui kekerasannya, dan foto makro dan mikro untuk mengetahui cacat pengelasan dan bentuk struktur mikronya.

## **METODE**

Kekuatan sambungan las sangat penting peranya dalam teknik perbaikan menggunakan pengelasan bawah air dalam penelitian ini inti masalah terfokuskan pada bagaimana membandingkan kekuatan pengelasan di dalam air laut, di dalam air tawar dan di darat serta membandingkan kekerasan dan struktur mikronya. Penelitian ini tidak lepas dari permasalahan permasalahan lain, maka dari itu pada penelitian ini mempunyai batasan masalah agar penelitian ini terfokuskan pada permasalahan yang ingin di selesaikan, batasan masalah itu antara lain :

- Pengelasan di dalam air di lakukan di kedalaman 0.15 m.
- Travel speed pada pengelasan di dalam air kurang lebih 2,08 mm/detik.
- Travel speed pada pengelasan di darat 4,16 mm/detik.
- Air laut yang digunakan berasal dari toko ikan hias.
- Suhu air diabaikan.
- Ampere listrik yang digunakan 140 Ampere.
- Pengelasan dilakukan oleh orang biasa.

Pengujian kekuatan sambungan las sangat penting. Mengingat permasalahan utama dalam penelitian ini adalah membandingkan kekuatan Tarik dari pengelasan yang di las di dalam air tawar, di dalam air laut, dan di darat untuk itu penelitian ini menggunakan acuan standard AWS B.4 yang khusus digunakan untuk pengujian kekuatan Tarik sambungan las. Pengujian kekerasan pada sambunngan las menggunakan standard ASTM E 10. Analisa Foto mikro menggunakan acuan standar ASTM E 3.

- Bahan :

1. Baja ST 37
2. Elektroda 6013
3. Selotip / Pita perekat

- Alat Pengelasan :

- |                                |                         |
|--------------------------------|-------------------------|
| 1. Mesin las daiden MMA 220 HD | 6. Air Tawar            |
| 2. Gerinda Potong              | 7. Air asin             |
| 3. Gerinda Tangan              | 8. Penempat benda kerja |
| 4. Jangka sorong               | 9. Stopwatch            |
| 5. Meteran                     | 10. Bak air.            |










- Alat Pengujian :

1. Mesin uji tarik SANS.
2. Mesin uji kekerasan merk Highwood HWMMT-X7.
3. Mikroskop merk Olympus untuk foto makro dan merk Euromex Holland untuk fotomikro.

## **HASIL DAN PEMBAHASAN**

Hasil pengelasan dianalisa visual terlebih dahulu sebelum dilakukan pengujian, berikut hasil yang didapat :

Tabel 1. Hasil Pengelasan Shielded metal arc welding di tempat yang berbeda

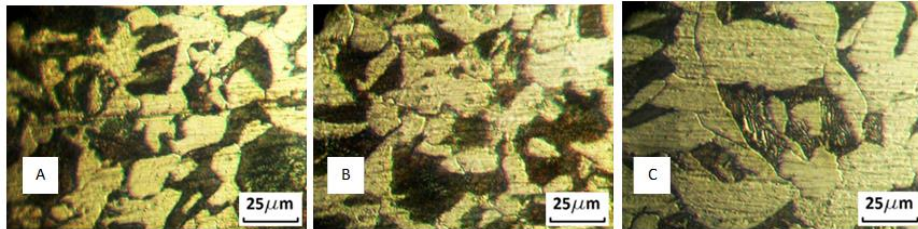
Pengelasan di darat							
1	<table border="1"> <tr> <th>Parameter :</th> <th>Hasil pengelasan:</th> </tr> <tr> <td>                     - Arus listrik : 140 Ampere                      - Travel speed : 4.16 mm/ sec dengan toleransi 0.1 mm/sec                 </td> <td>                     - bentuk manik las runcing                      - lebar manik las dari awal sampai akhir seragam                      - manik las lurus                      - Terdapat retakan di beberapa spesimen                 </td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">  </td> </tr> </table>	Parameter :	Hasil pengelasan:	- Arus listrik : 140 Ampere - Travel speed : 4.16 mm/ sec dengan toleransi 0.1 mm/sec	- bentuk manik las runcing - lebar manik las dari awal sampai akhir seragam - manik las lurus - Terdapat retakan di beberapa spesimen		
Parameter :	Hasil pengelasan:						
- Arus listrik : 140 Ampere - Travel speed : 4.16 mm/ sec dengan toleransi 0.1 mm/sec	- bentuk manik las runcing - lebar manik las dari awal sampai akhir seragam - manik las lurus - Terdapat retakan di beberapa spesimen						
							
Pengelasan di dalam air tawar							
2	<table border="1"> <tr> <th>Parameter :</th> <th>Hasil pengelasan:</th> </tr> <tr> <td>                     - Arus listrik : 140 Ampere                      - Travel speed : 2.08 mm/ sec dengan toleransi 0.1 mm/sec                 </td> <td>                     - bentuk manik las runcing                      - lebar manik las dari awal sampai akhir tidak seragam                      - beberapa spesimen manik las tidak lurus                      - terdapat retakan di beberapa spesimen                 </td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">  </td> </tr> </table>	Parameter :	Hasil pengelasan:	- Arus listrik : 140 Ampere - Travel speed : 2.08 mm/ sec dengan toleransi 0.1 mm/sec	- bentuk manik las runcing - lebar manik las dari awal sampai akhir tidak seragam - beberapa spesimen manik las tidak lurus - terdapat retakan di beberapa spesimen		
Parameter :	Hasil pengelasan:						
- Arus listrik : 140 Ampere - Travel speed : 2.08 mm/ sec dengan toleransi 0.1 mm/sec	- bentuk manik las runcing - lebar manik las dari awal sampai akhir tidak seragam - beberapa spesimen manik las tidak lurus - terdapat retakan di beberapa spesimen						
							
Pengelasan di dalam air laut							
3	<table border="1"> <tr> <th>Parameter :</th> <th>Hasil pengelasan:</th> </tr> <tr> <td>                     - Arus listrik : 140 Ampere                      - Travel speed : 2.08 mm/ sec dengan toleransi 0.1 mm/sec                 </td> <td>                     - bentuk manik las runcing                      - lebar manik las dari awal sampai akhir tidak seragam                      - beberapa spesimen manik las tidak lurus                      - terdapat retakan di beberapa spesimen                 </td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">  </td> </tr> </table>	Parameter :	Hasil pengelasan:	- Arus listrik : 140 Ampere - Travel speed : 2.08 mm/ sec dengan toleransi 0.1 mm/sec	- bentuk manik las runcing - lebar manik las dari awal sampai akhir tidak seragam - beberapa spesimen manik las tidak lurus - terdapat retakan di beberapa spesimen		
Parameter :	Hasil pengelasan:						
- Arus listrik : 140 Ampere - Travel speed : 2.08 mm/ sec dengan toleransi 0.1 mm/sec	- bentuk manik las runcing - lebar manik las dari awal sampai akhir tidak seragam - beberapa spesimen manik las tidak lurus - terdapat retakan di beberapa spesimen						
							

Pengelasan di darat dengan parameter Arus listrik 140 ampere dan travel speed 4,16 mm/ sec dengan toleransi 0,1 mm / sec menghasilkan pengelasan yang cukup baik. Manik las pada hasil pengelasan berbentuk runcing dan lebar manik las dari awal pengelasan sampai akhir seragam. Hal ini disebabkan oleh travel speed yang jika di tinjau dari manik las termasuk travel speed yang cepat dan tidak terdapat crack di beberapa spesimen.



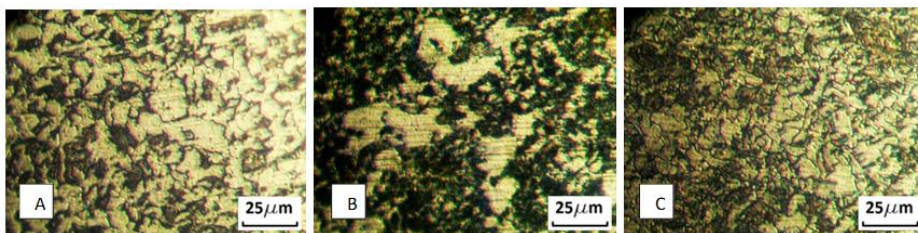
Pengelasan di dalam air tawar dan air laut dengan parameter Arus listrik 140 ampere dan travel speed 2.08 mm/ sec dengan toleransi 0,1 mm/sec menghasilkan pengelasan yang kurang baik di beberapa spesimen. Hal ini disebabkan oleh letak pengelasan yang berada di dalam air dengan banyak halangan seperti gelembung gas yang mengakibatkan tinggi rendahnya elektroda saat pengelasan tidak konstan dan pengaruh cepatnya pendinginan juga , bisa dilihat dari bentuk manik las yang cenderung tidak lurus dan terdapat hot dan cold crack dikarenakan pendinginan yang cepat.

### Struktur Mikro



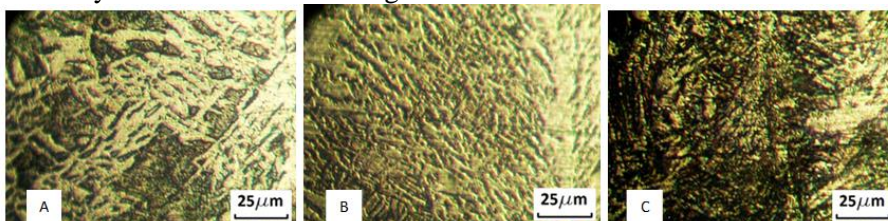
Gambar 1. *Base metal* a) Pengelasan Darat b) Pengelasan Tawar c) Pengelasan Laut

*Base metal* adalah daerah yang tidak terpengaruh pengelasan. Pada daerah *base metal* terlihat butiran-butiran berbentuk pipih, hal ini dikarenakan proses pembentukan dengan menggunakan proses roll (Gambar 1).



Gambar 2. *HAZ* a) Pengelasan Darat b) Pengelasan Tawar c) Pengelasan Laut

Daerah HAZ adalah daerah yang mengalami siklus termal tetapi tidak mengalami deformasi plastis. Pada daerah ini juga terjadi perubahan struktur mikro (Gambar 2). Perubahan ini bisa dilihat pada struktur mikro base metal yang mempunyai butiran lebih besar di banding Haz ini menunjukkan bahwa pada daerah haz lebih keras di banding base metal. Pengelasan di atas permukaan air menunjukkan struktur ferrite lebih halus dibanding dengan pengelasan dibawah air tawar, dan di bawah air laut, sehingga kekerasan pada daerah HAZ yang di las di atas permukaan air mempunyai nilai kekerasan tertinggi. Hal ini juga di ungkapkan oleh Gunawan, (2007) dengan penelitiannya Analisa Kerusakan Hasil Pengelasan Bawah Air Pada Lambung Kapal Dengan Bahan Elektroda Rb 26 Terseloti, bahwa untuk pengujian mikrografi pada pengelasan air tawar struktur mikro weld metal memiliki struktur ferrite (daerah terang) lebih banyak dibandingkan dengan daerah HAZ dan base metal lebih banyak struktur pearlite (daerah gelap), pada pengelasan air laut pada daerah HAZ struktur pearlit (daerah gelap) lebih halus dibanding dengan base metal yang kelihatan lebih kasar sehingga kekerasannya lebih rendah dibanding HAZ.

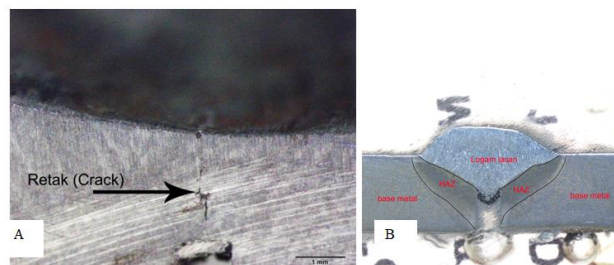


Gambar 3. *Weld metal* a) Pengelasan Darat b) Pengelasan Tawar c) Pengelasan Laut

Weld nugget adalah bagian dari logam yang pada waktu pengelasan mencair dan kemudian membeku (Gambar 3). Komposisi logam las terdiri dari komponen logam induk dan bahan tambah dari elektroda. Karena logam las dalam proses pengelasan ini mencair kemudian membeku, maka kemungkinan besar terjadi pemisahan komponen yang menyebabkan terjadinya struktur yang tidak homogen, ketidak homogennya struktur akan menimbulkan struktur ferit kasar dan bainit. Struktur mikro di logam las dicirikan dengan adanya struktur berbutir panjang.

Pengelasan di dalam air laut mempunyai struktur ferrit (Daerah terang) lebih halus di banding pengelasan di darat karena itu kekerasan logam lasan pengelasan air laut lebih keras dibanding pengelasan darat dan lebih lunak di banding pengelasan di dalam air tawar (Gambar 3). Pengelasan di darat mempunyai struktur ferrit (daerah terang) lebih besar dari pada pengelasan di dalam air laut, oleh sebab itu kekerasan logam lasan yang di las di darat mempunyai kekerasan paling lunak.

### Struktur Makro

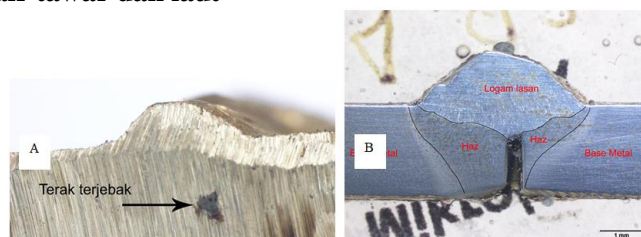


Gambar 4. a) Cacat pengelasan pada sambungan las pada pengelasan darat  
 b) daerah Pengelasan pada pengelasan darat

Gambar 4 Menunjukkan daerah HAZ, Logam Lasan, Base Metal dan cacat pengelasan, pada pengelasan di darat. Cacat pengelasan seperti ditunjukkan gambar 3.2 dinamakan retakan las atau *Cracking* yang mana *Cracking* ada di beberapa spesimen yang tidak diujikan tarik dan beberapa terjadi pada pengelasan darat dengan letak di akhir lasan menurut. Kou, (2003) *Hot cracking* atau retak panas yang terjadi pada temperatur tinggi, biasanya terjadi di tengah logam las. Retak panas dapat juga terjadi diantara butir *columnar* yang dikenal dengan istilah *dovetail cracking*. *Solidification Cracking* terjadi pada area logam las yang terakhir terjadi pembekuan. Selama proses pembekuan yang kontinyu, akan timbul tegangan pada logam di sepanjang kampuh las akibat *restraint* dari logam las yang mengalami pendinginan. level tegangan meningkat dengan derajat *restraint* yang tergantung pada geometri sambungan dan rigiditasnya.

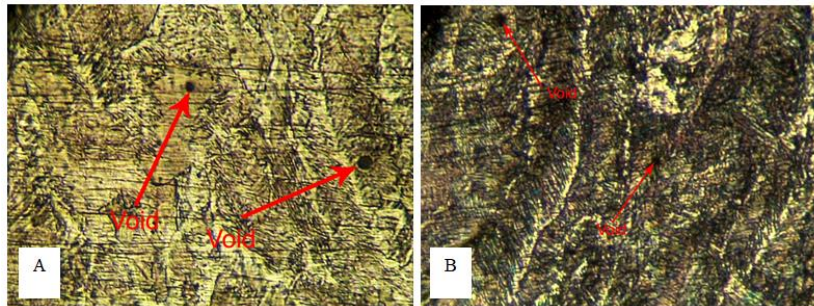
*Restraint* akan rendah jika volume logam las lebih besar di dibandingkan dengan ketebalan pelat dan tinggi volume logam las kecil dibandingkan ketebalan plat ini terjadi bila pelat di klem. Faktor lain juga yang menyebabkan kemungkinan *solidification crack* adalah efek dari komposisi kimia dari baja itu sendiri seperti unsur S,P dan ratio Mn/S.

### Pengelasan di dalam air tawar dan laut



Gambar 5. a) Cacat pengelasan pengelasan di dalam air tawar  
 b) Daerah pengelasan dalam air tawar

Gambar 5. menunjukkan daerah pengelasan dalam air tawar, untuk daerah pengelasan air laut tidak jauh berbeda dengan pengelasan di dalam air tawar. Gambar 5. a) Menunjukkan cacat pengelasan yang berupa slag inclusion atau terperangkapnya terak pada logam lasan (Sonawan & Suratman, 2003) Terak terbentuk selama proses pengelasan akibat reaksi kimia lapisan elektroda yang mencair, serta terdiri dari oksida logam dari senyawa lain. Karena kerapatan terak lebih kecil dari logam las yang mencair, terak biasanya berada pada permukaan dan dapat dihilangkan dengan mudah setelah dingin. Namun pendinginan sambungan yang terlalu cepat dapat menjebak terak sebelum naik ke permukaan.



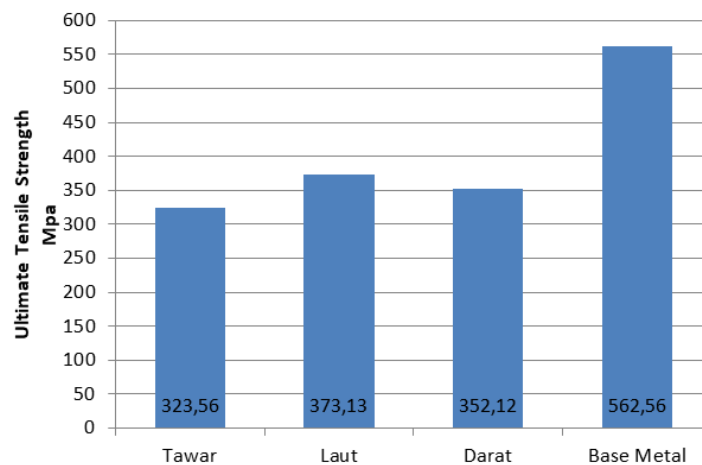
Gambar 6. a) *Gas Porosity* pada pengelasan air laut b) *Gas porosity* pada pengelasan air tawar

Gambar 6. menunjukkan cacat las yaitu *gas porosity* atau lubang yang terjadi saat pembekuan logam lasan gelembung gas terperangkap di dalamnya, cacat pengelasan seperti ini kemungkinannya menjadi besar saat pengelasan dibawah air menurut (Yasuo & Atsushi, 1986) Porositas terjadi bila rongga-rongga gas yang kecil terperangkap selama proses pendinginan. porositas pada pengelasan di dalam air terbentuk dari gas hidrogen atau uap air atau karbon Monoksida.

### Pengujian Tarik

Tujuan dilakukannya pengujian tegangan tarik adalah untuk mengetahui kekuatan sambungan hasil pengelasan saat menahan beban yang diberikan. Pengujian tarik menggunakan alat uji *Universal Testing Machine* milik Laboratorium Material Universitas sebelas maret Surakarta. Pengujian menggunakan standar AWS B4.0, dimana spesimen dibuat menggunakan mesin milling.

### Rata - Rata Tegangan (Ultimate Tensile Strength)



Gambar 7. Hasil Perbandingan *Ultimate Tensile Strength*

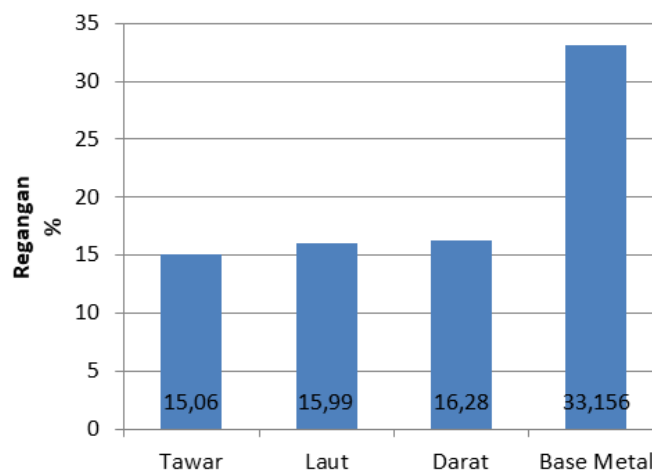


Gambar 7. menunjukkan hasil perbandingan tegangan tarik *ultimate tensile strength* hasil pengelasan di berbagai kondisi dan base metal. Pengelasan di dalam air laut mempunyai tegangan tarik maksimum paling tinggi sebesar 373,13 MPa dari semua pengelasan. Pengelasan di dalam air tawar mempunyai tegangan tarik maksimum paling rendah yaitu sebesar 323,56 Mpa

(Supriadi, 2009) Kekuatan tarik benda uji yang di las di dalam air laut lebih besar dari pada benda uji yang di las di darat, hal ini di sebabkan karena pada pengelasan di laut pendinginan yang terjadi lebih cepat dari pada pengelasan di darat. Selain pengaruh dari air garam itu sendiri dengan unsur kimia (NaCL) yang sangat mempengaruhi kekuatan bahan. Sedangkan pengelasan yang dilakukan di darat memiliki kekuatan yang lebih rendah hal ini karena pada pengelasan di darat mengalami proses pendinginan yang lambat sehingga mempengaruhi kekuatan tarik bahan.

(Chen et al., 2010) Pengelasan di dalam air mempunyai kekuatan lebih besar tetapi mempunyai regangan yang lebih rendah dibanding dengan pengelasan di ruang terbuka. Kekuatan tariknya mengalami peningkatan yang variatif dari 6,9% sampai 41% dan regangan yang mengalami penurunan sebesar 50 %, ketika sambungan las di rubah orientasinya yang semula melintang menjadi memanjang, kekuatan meningkat mendekati dua kali lipat dari 23,7% sampai 41 % pada baja SY295, mendekati tiga kali lipat dari 6,9 % sampai 21,3% pada baja STK 400 dan tidak berubah pada baja SYW295.

### Regangan (*Strain*)



Gambar 8. Hasil Perbandingan Regangan

Gambar 8. menunjukkan nilai regangan pada pengelasan di dalam air tawar , air laut, dan di darat dengan regangan paling tinggi pada pengelasan di darat sebesar 16,28 % dan regangan paling rendah pada pengelasan di dalam air tawar sebesar 15,06 %. Pengelasan di darat mempunyai sifat mekanis lebih ulet dibanding dengan pengelasan di dalam air tawar dan air Laut, hal ini dikarenakan pendinginan di darat lebih lambat di banding dengan di dalam air tawar dan di dalam air laut. Pengelasan di dalam air tawar lebih getas dari pengelasan di darat dan di dalam air laut dikarenakan pendinginan yang cepat, Pengelasan di dalam air laut mempunyai regangan lebih baik dari pengelasan air tawar dikarenakan ada unsur unsur penguat yang ada di dalam air laut.

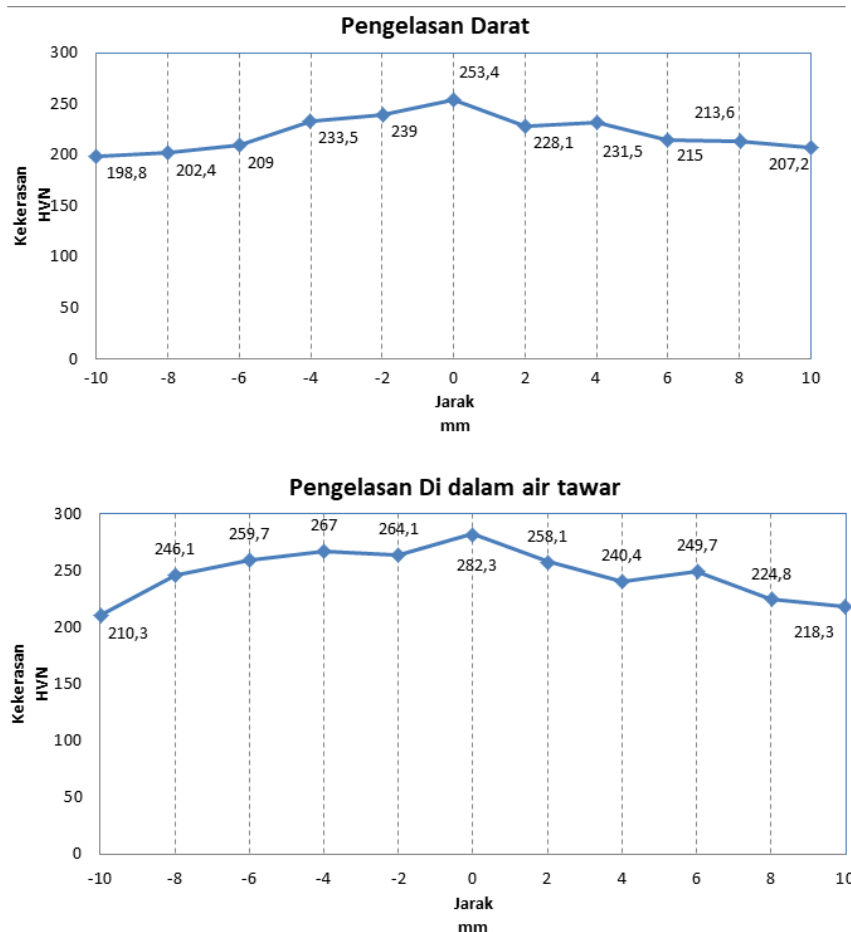
### Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan pada penelitian ini menggunakan alat uji *micro vicker machine* milik laboratorium Universitas Sebelas Maret dengan menggunakan parameter pengujian sebagai berikut:

- Beban yang digunakan sebesar 200gf
- Waktu tahan selama 10 detik
- Jarak tiap titik uji 2,5 mm



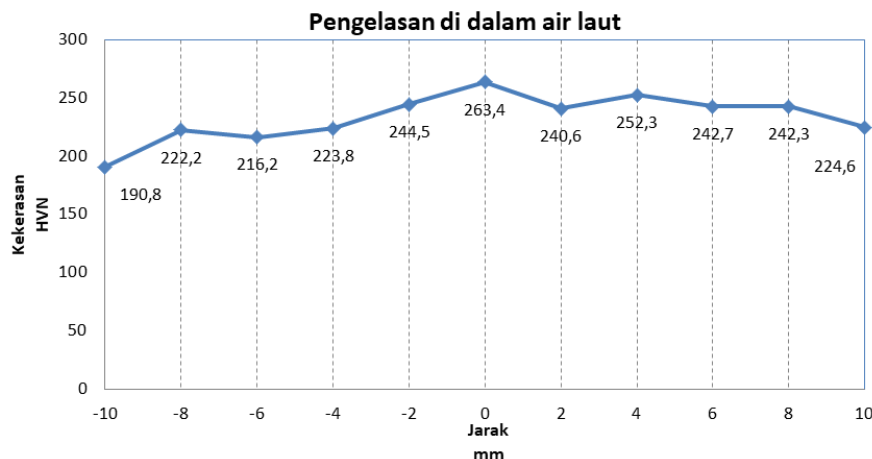
Pengujian ini menggunakan standar ASTM E384 untuk proses pengujian, dimensi benda kerja dapat dilihat sesuai gambar beserta titik-titik yang akan diuji kekerasannya. Hasil pengujian kekerasan ditampilkan dalam bentuk tabel dan grafik untuk mengetahui hubungan antara nilai kekerasan dengan jarak titik uji dari titik tengah spesimen. Data nilai kekerasan dari penelitian yang sudah didapat bisa dibuat sebuah grafik hubungan antara nilai kekerasan dengan jarak tiap titik uji dari titik tengah spesimen.



**Gambar 9.** Grafik Kekerasan Pengelasan di darat dan di dalam air tawar

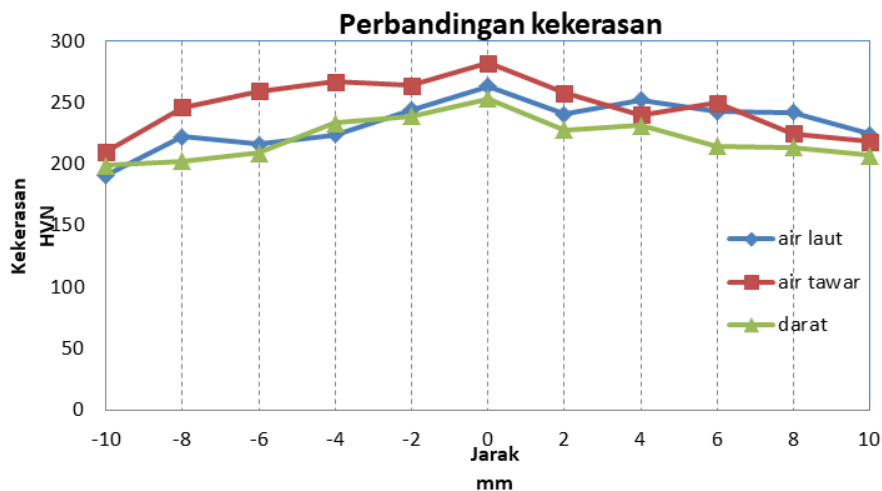
Gambar 9 menunjukkan bahwa kekerasan pada pengelasan di atas permukaan air mempunyai nilai tertinggi pada titik 0 yang berada pada *weld nugget* sebesar 253.4 VHN . rata rata nilai kekerasan pada daerah *weld nugget* dengan posisi titik -1 , titik 0, dan titik 1 sebesar 240,17 VHN. Rata rata nilai kekerasan pada daerah Haz dengan posisi titik 2, titik 3, titik -2, titik -3 sebesar 222,3 VHN. Rata rata nilai kekerasan pada daerah *base metal* dengan posisi titik 4, titik 5, titik -4, titik -5 sebesar 205,5 VHN.

Gambar 9. menunjukkan bahwa kekerasan pada pengelasan di atas permukaan air mempunyai nilai tertinggi pada titik 0 yang berada pada *weld nugget* sebesar 282.3 VHN . rata rata nilai kekerasan pada daerah *weld nugget* dengan posisi titik -1 , titik 0, dan titik 1 sebesar 268.2 VHN. Rata rata nilai kekerasan pada daerah Haz dengan posisi titik 2, titik 3, titik -2, titik -3 sebesar 254.2 VHN. Rata rata nilai kekerasan pada daerah *base metal* dengan posisi titik 4, titik 5, titik -4, titik -5 sebesar 224.9 VHN.



**Gambar 10.** Grafik Kekerasan Pengelasan di dalam air tawar

**Gambar 10.** menunjukkan bahwa kekerasan pada pengelasan di atas permukaan air mempunyai nilai tertinggi pada titik 0 yang berada pada *weld nugget* sebesar 263.4 VHN . rata rata nilai kekerasan pada daerah *weld nugget* dengan posisi titik -1 , titik 0, dan titik 1 sebesar 249.5 VHN. Rata rata nilai kekerasan pada daerah *Haz* dengan posisi titik 2, titik 3, titik -2, titik -3 sebesar 233.8 VHN. Rata rata nilai kekerasan pada daerah *base metal* dengan posisi titik 4, titik 5, titik -4, titik -5 sebesar 220 VHN.



**Gambar 11.** Grafik Kekerasan Pengelasan di dalam air tawar

Gambar 11. menunjukkan kekerasan paling tinggi berada pada *Weld nugget* pengelasan air tawar sebesar 253,4 VHN. Hal tersebut terjadi karena *Weld nugget* mengalami pendinginan yang lebih cepat dari pada pengelasan di darat. Hal ini juga diungkapkan oleh (Supriadi, 2009) dengan penelitian Pengaruh pengelasan di darat dan dibawah permukaan laut terhadap sifat mekanis baja, spesimen yang dipakai ialah baja seri ST 42 mengungkapkan bahwa , Pada pengujian , hasil pengelasan di bawah permukaan laut terlihat adanya peningkatan kekerasan yaitu 200,1 VHN dibanding dengan hasil pengelasan di darat dengan 184,3 VHN. (Haryadi, 2007) dengan penelitian analisa kerusakan hasil pengelasan bawah air pada lambung kapal Dengan bahan elektroda rb 26 terseloti mengungkapkan bahwa Pada media air tawar nilai kekerasan yang lebih tinggi sebesar 244,9 VHN dibandingkan dengan pengelasan media air laut sebesar 225,5 VHN. Grafik kekerasan pengelasan bawah air tawar maupun air laut menunjukkan kekerasan meningkat dengan fluktuatif ini di karenakan pada area area tertentu terjadi pendinginan lebih cepat atau lebih lambat dari area sekitarnya

## KESIMPULAN

Pengelasan baja ST 37 di dalam air laut mempunyai kekuatan tarik paling tinggi tetapi regangannya sedang yaitu sebesar 373,13 MPa untuk tegangan tarik dan 15,99 % untuk regangannya. Pengelasan baja ST 37 di dalam air tawar mempunyai kekuatan tarik paling rendah dengan regangan yang rendah pula yaitu sebesar 323,56 MPa untuk tegangan tarik dan 15,06 % untuk regangannya. Pengelasan baja ST 37 di darat mempunyai kekuatan tarik menengah tetapi regangannya paling tinggi yaitu sebesar 352,12 MPa untuk tegangan tarik dan 16,28 % untuk regangannya.

## DAFTAR PUSTAKA

- Anggono, A. D., Widodo, T., Riyadi, B., Triyoko, D., & Hariyanto, A. (2018). Influence of Tool Rotation and Welding Speed on The Friction Stir Welding of AA 1100 and AA 6061-T6, 020054. <http://doi.org/10.1063/1.5042910>
- Chen, X., Kitane, Y., & Itoh, Y. (2010). Mechanical Properties of Fillet Weld Joints by Underwater Wet Welding in Repairing Corrosion-Damaged Offshore Steel Structures, 56(March).
- D.Rowe, M., Liu, S., & J., R. T. (2002). The Effect of Ferro-Alloy Additions and Depth on the Quality of Underwater Wet Welds.
- E, Z., & Anggono, A. D. (2017). Analisa Kekuatan Mekanik Dan Struktur Metalografi Pada Metode Brazing Antara Aluminium Dan Besi Dengan Menggunakan Filler Alusol. *Universitas Muhammadiyah Surakarta*.
- Fydrych, D., Rogalski, G., & Łabanowski, J. (2014). Problems of Underwater Welding of Higher-Strength Low Alloy Steels, (5), 187–195.
- Guo, N., Xu, C., Du, Y., Wang, M., & Feng, J. (2016). Journal of Materials Processing Technology Effect of boric acid concentration on the arc stability in underwater wet welding. *Journal of Materials Processing Tech.*, 229, 244–252. <http://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2015.09.028>
- Haryadi, G. D. (2007). Aalisa Kerusakan Hasil Pengelasan Bawah Air Pada Lambung Kapal Dengan Bahan Elektroda RB 26 Tersoloti.
- Kou, S. (2003). *Metallurgy Second Edition Welding Metallurgy*. Wiley & Sons.
- PI, M., & Anggono, A. D. (2017). Analisis Kekuatan Tarik Dan Struktur Mikro Pada Sambungan T-Joint Dan Butt Joint Pipa Aluminium Dengan Metode Soldering. *Universitas Muhammadiyah Surakarta*.
- Sonawan, H., & Suratman, R. (2003). *Pengantar untuk memahami proses Pegelasan Logam*. Bandung: Alfabeta.
- Supriadi. (2009). Pengaruh pengelasan di darat dan dibawah permukaan laut terhadap sifat mekanis baja.
- Yasuo, S., & Atsushi, H. (1986). Porosity in Underwater.