

## Pengaruh Elektroda RB 26 Berlapis pada *Under Water Welding Process* ditinjau dari Sifat Mekanis pada Lambung Kapal

Gunawan D Haryadi<sup>1</sup>, Stenly Tangkuman<sup>2</sup>, Agus Tri Hardjuno<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro, Semarang

<sup>2</sup>Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Sam Ratulangi, Manado

<sup>3</sup>EAEM Reliability Lab. UPT Lab Terpadu UNDIP, Semarang

### ABSTRAK

*Under water welding process dengan menggunakan elektroda berlapis selotip merupakan alternatif teknik penyambungan ataupun perbaikan yang bermanfaat dalam bidang industri. Penelitian ini bertujuan mengetahui kekuatan tarik dan kekerasan baja konstruksi kapal hasil pengelasan bawah air dengan menggunakan elektroda berlapis selotip yang dilakukan pada media air tawar dan air laut.*

*Selotip memiliki sifat kedap air dan adesif sehingga dapat digunakan sebagai pelapis elektroda untuk pengelasan bawah air. Selotip yang digunakan merupakan jenis yang umum dipakai dan mudah diperoleh.*

*Hasil pengujian tarik menunjukkan bahwa proses pengelasan media air tawar dan air laut tidak memberi pengaruh banyak terhadap kekuatan tarik dengan nilai kekuatan tarik antara 29,17 kg/mm<sup>2</sup> - 45,45 kg/mm<sup>2</sup>, namun pengaruh nilai kekerasan antara 137,7 HVN - 244,9 HVN. Hal ini didukung dengan foto mikro pada daerah tersebut memiliki struktur yang kecil.*

Kata kunci : *under water welding process*, elektroda RB 26, lambung kapal, kekuatan tarik, kekerasan, SMAW, *Direct Current Straight Polarity*

### 1. Pendahuluan

Ada salah satu alternatif teknik penyambungan yang banyak digunakan dewasa ini adalah pengelasan, yang merupakan suatu proses penggabungan dua logam sejenis maupun lain jenis. Dengan teknik ini diharapkan kekuatan logam hasil pengelasan minimum sama dengan kekuatan logam induknya. Hasil pengelasan banyak digunakan dalam bidang industri dan memiliki banyak keuntungan dibandingkan teknik penyambungan lain seperti keling atau mur-baut, antara lain dari segi teknis, pengelasan memiliki banyak variasi posisi pengelasan dan pengoperasian. Selain itu lebih cepat dan singkat dari segi ekonomi.

Salah satu penerapan metode pengelasan saat ini adalah pengelasan bawah air atau biasa disebut *underwater welding* yang merupakan pengembangan dari proses pengelasan yang umum dilakukan. Penerapannya terutama dalam bidang perkapalan ataupun perbaikan instalasi eksplorasi lepas pantai. Namun di Indonesia sendiri masih jarang digunakan. Salah satu contoh adalah jika sebuah kapal memerlukan perbaikan, maka kapal tersebut akan diangkat dari air menuju dok dan diperbaiki. Hal ini tentu akan memakan waktu dan biaya sehingga diperlukan suatu metode pengelasan yang relatif lebih cepat yaitu dengan *underwater welding* yang dapat dilakukan langsung di air.

Pengelasan dalam air dengan Proses SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*) dapat dilakukan meskipun elektroda yang digunakan adalah elektroda yang lazim digunakan pada pengelasan di atmosfer dan bukan elektroda las yang khusus untuk

pengelasan bawah air. Pada umumnya terjadi peningkatan arus listrik sekitar 50% atau lebih jika mengelas basah dalam air dibandingkan dengan pengelasan biasa. Gelembung-gelembung gas yang terjadi sangat mengganggu penglihatan juru las sehingga, masih perlu dicarikan jalan keluarnya agar hasil pengelasan menjadi lebih baik. Jika tidak seluruh elektroda las terendam dalam air, perlu diwaspadai terjadinya konsentrasi gas hidrogen yang muncul di permukaan air yang akan segera terbakar jika gas tersebut bertemu dengan oksigen dari udara.

### 2. Metode Pengelasan

Terdapat beberapa cara pengklasifikasian yang dapat digunakan dalam bidang las, hal ini disebabkan karena belum adanya kesepakatan dalam hal tersebut. Secara konvensional cara-cara pengklasifikasian tersebut dapat dibagi dua golongan, klasifikasi berdasarkan cara kerja dan klasifikasi berdasarkan energi yang digunakan. Klasifikasi pertama membagi las dalam kelompok las cair, las tekan, las patri dan lain-lain. Sedangkan klasifikasi kedua membedakan adanya kelompok-kelompok seperti las listrik, las kimia, las mekanik dan seterusnya. [Ref. 17 hal 7]

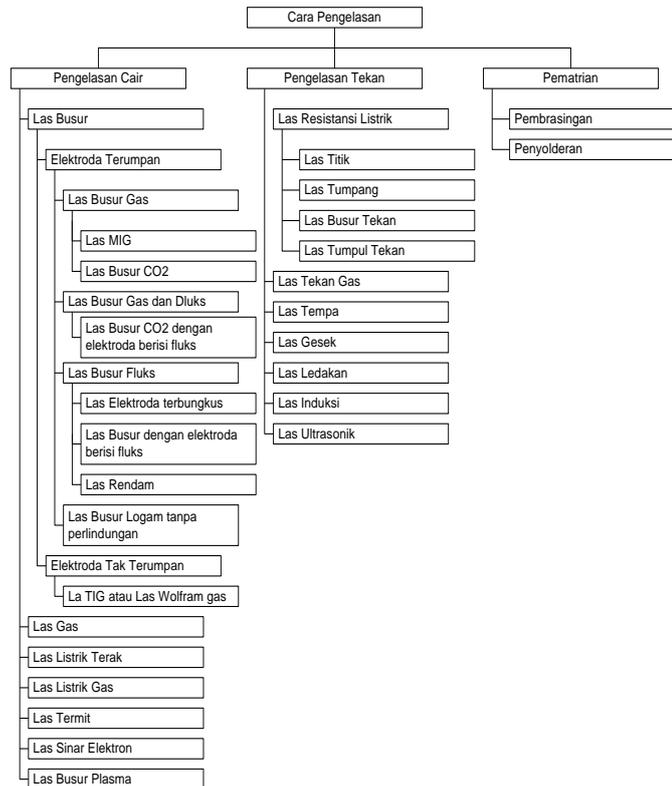
Diantara kedua cara klasifikasi tersebut di atas, klasifikasi berdasarkan cara kerja lebih banyak digunakan, karena itu pengklasifikasian yang diterangkan di dalam bab ini juga berdasarkan pada cara kerja.

Berdasarkan pengklasifikasian cara kerjanya, pengelasan dapat dibagi dalam tiga kelas utama, yaitu : pengelasan cair, pengelasan tekan dan pematrian. [Ref. 17 hal 7];

1. Pengelasan cair adalah cara pengelasan dimana sambungan dipanaskan sampai mencair dengan sumber panas dari busur listrik atau semburan api gas yang terbakar.

2. Pengelasan tekan adalah cara pengelasan dimana sambungan dipanaskan dan kemudian ditekan hingga menjadi satu.
3. Pematrian adalah cara pengelasan dimana sambungan diikat dan disatukan dengan menggunakan paduan logam yang mempunyai titik cair rendah. Dalam cara ini, logam induk tidak ikut mencair.

Perincian lebih lanjut dari klasifikasi ini dapat dilihat dalam Gambar 2.1 [Ref. 17 hal 8].



Gambar 2.1Klasifikasi/pengelompokan proses pengelasan.

### 2.1.1 Persiapan Dasar Pengelasan

Mutu dari hasil pengelasan disamping dari pengerjaan lasnya sendiri juga sangat tergantung dari persiapannya sebelum pelaksanaan pengelasan. Karena itu persiapan pengelasan harus mendapatkan perhatian dan pengawasan yang sama dengan pelaksanaan pengelasan. Persiapan umum dalam pengelasan meliputi penyediaan bahan, pemilihan mesin las, penunjukan juru las, penentuan alat perakit dan beberapa hal lainnya lagi. [Ref. 17. hal 212]. Ada beberapa hal yang perlu dipersiapkan dalam bagian yang akan dilas :

- (1) Persiapan sisi las

Setelah penentuan proses pengelasan, maka geometri sambungan harus ditentukan dengan memperhatikan tingkatan teknik dari bagian pembuatan, sifat kemampuan pengerjaannya dan kemungkinan penghematan yang akhirnya tertuju pada bentuk alur. Pada umumnya untuk pengelasan plat dengan tebal sampai 6 mm

digunakan alur persegi, untuk plat dengan tebal antara 6 mm sampai 20 mm digunakan alur V tunggal dan yang lebih tebal lagi dengan alur V ganda atau U tunggal atau ganda. Posisi pengelasan yang terbaik dilihat dari sudut kualitas sambungan dan efisiensi pengelasan adalah posisi datar.

- (2) Las ikat dan perakitan

Las ikat biasanya dilaksanakan dengan elektroda yang sama jenisnya dengan elektroda untuk pengelasan sebenarnya.

- (3) Pemeriksaan dan perbaikan alur

Bentuk dan ukuran alur turut menentukan mutu lasan, karena itu pemeriksaan terhadap ketelitian bentuk dan ukurannya harus juga dilakukan pada saat sebelum pengelasan.

- (4) Pembersihan alur

Kotoran-kotoran seperti karat, terak, minyak, dan gemuk dan lainnya bila tercampur dengan logam lasan dapat menimbulkan cacat las

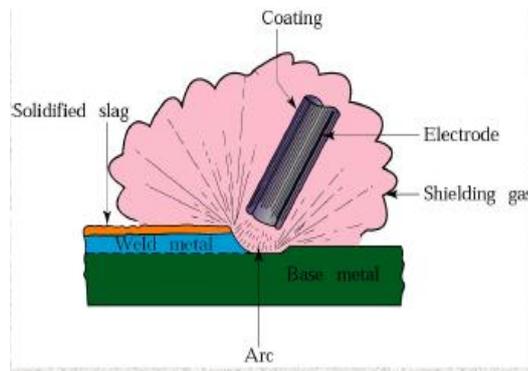
seperti retak. Oleh sebab itu kotoran-kotoran tersebut harus dibersihkan sebelum pelaksanaan pengelasan.

### 2.1.2 Las Busur Listrik

*Deutsche Industrie Normen* (DIN) memberikan definisi las adalah ikatan metalurgi pada sambungan logam atau logam paduan yang dilaksanakan dalam keadaan lumer atau cair [Ref. 17 hal. 1]. Lebih lanjut dijabarkan bahwa las adalah sambungan setempat pada logam dengan proses penyambungan menggunakan energi panas. Energi panas tersebut dapat berasal dari pembakaran gas, sinar elektron, tahanan listrik maupun busur listrik. Proses pengelasan yang banyak digunakan dalam kehidupan sehari-hari adalah pengelasan busur

listrik. Salah satu jenisnya adalah las elektroda terbungkus yaitu las yang menggunakan busur listrik sebagai media pencair logam dan elektroda yang terbungkus oleh fluks. Proses ini biasa juga disebut SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*).

Prinsip kerja SMAW dapat dilihat pada Gambar 2.2. Panas yang timbul pada busur yang diperoleh dengan menyentuhkan elektroda sesaat pada benda kerja, mencairkan ujung elektroda dan benda kerja pada bagian yang akan mengalami proses pengelasan. Logam dari elektroda yang mencair dipindahkan melewati busur ke permukaan benda kerja dan membentuk logam lasan, yang kemudian tertutup oleh *slag* yang berasal dari penguraian lapisan elektroda.

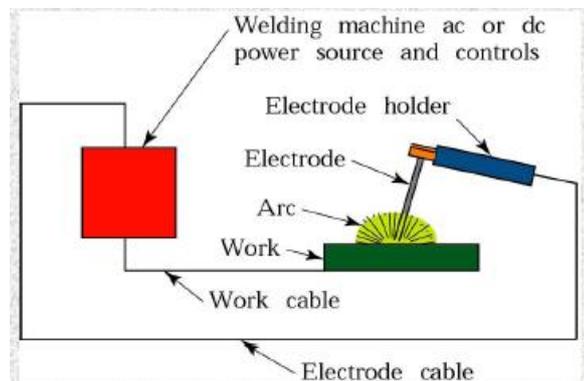


Gambar 2.2 Skema pengelasan SMAW [Ref. 12 hal. 6].

### 2.1.3 Mekanisme Kerja Mesin Las SMAW

Peralatan yang diperlukan untuk pengelasan SMAW ditunjukkan pada Gambar 2.3. Pada mesin las SMAW terdapat kabel primer dan kabel sekunder. Kabel primer adalah kabel yang menghubungkan sumber tenaga dan mesin las, sedangkan kabel sekunder adalah kabel elektroda dan kabel massa. Tenaga mesin las diperoleh dari tenaga listrik tegangan tinggi yang dialirkan ke bengkel melalui *transformator*. Tegangan listrik yang biasanya digunakan umumnya bertegangan 110 volt, 220 volt, 380 volt. Kabel sekunder

digunakan untuk mengantar arus dari sumber tenaga ke busur las. Kabel elektroda membentuk aliran arus pada satu sisi dan kabel massa membentuk aliran pada sisi lainnya. Keduanya dihubungkan ke mesin las. Sumber tenaga menyediakan tenaga listrik dengan arus dan regangan yang sesuai untuk mempertahankan kestabilan busur las. Sehingga karakteristik *output* sumber tenaga adalah jenis arus konstan dengan interval arus antara 25 – 500 A dan tegangan antara 15 – 35 V.



Gambar 2.3 Diagram sirkuit SMAW [Ref. 11 hal. 6].

**2.1.4 Jenis Arus Mesin Las SMAW**

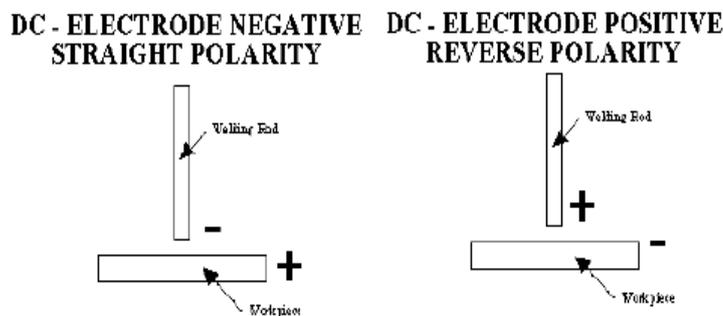
Jenis arus yang digunakan pada mesin las SMAW adalah :

- a) Mesin las dengan arus bolak balik (AC/Alternating Current).  
Mesin ini banyak digunakan dengan pertimbangan harga, penggunaan yang mudah dan perawatan yang sederhana. Namun mesin ini kurang cocok digunakan untuk proses pengelasan logam-logam tipis karena las busur listrik jenis ini kurang stabil.
- b) Mesin las dengan arus searah (DC/Direct Current)
  - *Direct Current Straight Polarity* (DCSP).

Adalah apabila elektroda las dihubungkan dengan kutub negatif, sedangkan kabel massa dihubungkan kutub positif. Pengelasan menghasilkan penembusan yang dangkal karena panas yang terjadi pada benda kerja tidak begitu tinggi sehingga cocok untuk proses pengelasan logam-logam tipis.

- *Direct Current Reverse Polarity* (DCRP).

Adalah apabila kabel massa dihubungkan dengan kutub negatif dan kabel elektroda dihubungkan dengan kutub positif. Pengelasan ini menimbulkan penembusan yang dalam karena sebagian besar panas diserap oleh benda kerja yang tebal. Penjelasan mengenai hubungan antara arus elektroda bias dilihat pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4 Hubungan antara arus-elektroda [Ref. 16 hal. 35].

**2.2 Parameter Las**

**2.2.1 Pemilihan Besar Arus**

Pemilihan besar arus dalam proses pengelasan sangat mempengaruhi hasil pengelasan. Arus yang digunakan tergantung jenis material, ukuran lasan,

geometri sambungan, jenis elektroda dan diameter inti elektroda. Daerah lasan memiliki kapasitas panas yang tinggi maka perlu arus las besar bahkan mungkin perlu pemanasan awal sebelum pengelasan dilakukan. Pemilihan arus dapat dilihat pada Tabel 2.1 [Ref. 17 hal. 32].

Tabel 2.1 Diameter Elektroda dan Besar Arus

Diameter (mm)	Panjang (mm)	Arus (ampere)
8	450	300-500
6,3	450	200-370
6	450	190-310
5	450	150-250
4	450	128-180
4	350	120-190
3,25	450	80-125
3,25	350	80-135
2,5	350	60-90
2	350	50-80

### 2.2.2 Tegangan Busur Las

Tingginya tegangan busur tergantung pada panjang busur yang dikehendaki dan jenis dari elektroda yang digunakan. Pada elektroda yang jenisnya tingginya tegangan busur yang diperlukan berbanding lurus dengan panjang busur.

Panjang busur yang dianggap baik kira-kira sama dengan garis tengah elektroda. Tegangan yang diperlukan untuk mengelas dengan elektroda bergaris tengah 3 sampai 6 mm, kira-kira antara 20 sampai 30 volt untuk posisi datar. Kestabilan busur juga dapat didengar dari kestabilan suara selama pengelasan.

### 2.2.3 Kecepatan Pengelasan

Kecepatan pengelasan tergantung jenis material logam induk, jenis elektroda, diameter elektroda, geometri sambungan dan lainnya [ Ref. 17 hal. 224]. Perubahan tegangan pada busur pengelasan hampir tidak ada pengaruhnya terhadap kecepatan pengelasan. Namun kombinasi arus dan tegangan busur las akan membentuk pola umum pada kecepatan pengelasan, yaitu apabila kecepatan meningkat, maka masukan panas persatuan panjang pengelasan berkurang, dan penguatan hasil lasan akan menurun. Sebaliknya, jika kecepatan pengelasan berkurang, maka masukan panas persatuan panjang pengelasan bertambah, konsumsi kawat las bertambah dan penguatan hasil lasan akan meningkat. Selain itu, kecepatan juga dapat mempengaruhi penetrasi dimana kecepatan yang meningkat akan mengurangi penetrasi sebab sebagian genangan cairan logam las berada di bawah kawat las sehingga penetrasi busur terendam.

### 2.2.4 Polaritas Listrik

Seperti diterangkan sebelumnya bahwa pengelasan busur listrik dengan elektroda terbungkus dapat menggunakan polaritas lurus dan polaritas balik. Pemilihan polaritas ini tergantung pada bahan pembungkus elektroda, konduksi termal dari bahan induk, kapasitas panas dari sambungan dan lain sebagainya.

### 2.2.5 Besarnya Penembusan

Besarnya penembusan tergantung pada sifat-sifat fluks, polaritas, besarnya arus, kecepatan las dan tegangan yang digunakan. Pada dasarnya makin besar arus las makin besar pula daya tembusnya. Sedangkan tegangan memberikan pengaruh yang sebaliknya yaitu makin besar tegangan makin panjang busur yang terjadi dan makin tidak pusat.

## 2.3 Bahan Fluks

Dalam las elektroda terbungkus fluks memegang peranan penting karena dapat bertindak sebagai [Ref. 17 hal. 10]

- a. Pemantap busur dan memperlancar pemindahan butir-butir cairan logam.
- b. Sumber terak atau gas yang dapat melindungi logam cair terhadap udara di sekitarnya
- c. Sumber unsur-unsur paduan.
- d. Mengurangi cipratan logam pengisi.
- e. Mempengaruhi kedalaman penetrasi busur.
- f. Memperlambat kecepatan pendinginan sambungan las.

Fluks biasanya terdiri dari bahan-bahan tertentu dengan perbandingan yang tertentu pula. Bahan-bahan yang digunakan dapat digolongkan dalam bahan pemantapan busur, pembuat terak, penghasil gas, deoksidator, unsur paduan, dan bahan pengikat. Bahan-bahan tersebut antara lain oksida-oksida logam, karbonat, silikat, fluorida, zat organik, baja paduan dan serbuk besi. Elektroda las yang ada di pasaran biasanya dibungkus dengan campuran bahan-bahan fluks tertentu yang tergantung dari penggunaannya. Walaupun jenis elektroda sangat banyak jumlahnya, tapi secara garis besar dapat digolongkan berdasarkan fluks yang membungkusnya, yaitu :

- a) Jenis oksida titan  
Jenis ini juga disebut rutil atau titania dan berisi banyak  $TiO_2$  didalamnya. Busur yang dihasilkan oleh elektroda yang dibungkus dengan fluks jenis ini tidak terlalu kuat, penetrasi atau penembusan cairan logamnya dangkal dan menghasilkan manik las yang halus. Karena itu jenis ini baik sekali untuk pengelasan plat-plat baja tipis atau untuk pengelasan terakhir pada pengelasan plat tebal.
- b) Jenis titania kapur  
Jenis ini disamping berisi rutil juga mengandung kapur. Disamping sifat-sifat seperti yang dimiliki oleh jenis oksida titan, jenis ini mempunyai keunggulan lain yaitu kemampuannya menghasilkan sifat mekanik yang baik. Walaupun penetrasinya dangkal masih juga dapat menghasilkan manik las yang agak halus. Jenis ini sesuai hampir untuk semua posisi pengelasan, terutama posisi tegak dan posisi atas kepala.
- c) Jenis ilmenit  
Jenis ini terletak diantara jenis oksida titan dan jenis oksida besi. Bahan fluksnya yang utama adalah ilmenit atau  $FeTiO_3$ . Busur yang dihasilkan agak kuat dan memberi penetrasi yang cukup dalam. Derajat kecairan dari terak yang terbentuk cukup tinggi. Dengan sifat tersebut, jenis ini dapat menghasilkan sambungan yang mempunyai sifat mekanik yang cukup tinggi. Karena sifat-sifatnya yang dapat mencakup penggunaan yang luas, maka elektroda yang dibungkus dengan fluks jenis ini dianggap sebagai elektroda serba guna.

- d) Jenis hidrogen rendah  
Jenis ini kadang-kadang disebut juga dengan nama jenis kapur karena bahan utamanya adalah kapur dan fluorat. Jenis ini menghasilkan sambungan dengan kadar hidrogen rendah sehingga kepekaan terhadap retak sangat rendah mengakibatkan ketangguhan yang memuaskan. Hal-hal yang kurang menguntungkan adalah busur listriknya kurang mantap sehingga butiran-butiran cairan yang dihasilkan agak besar dibandingkan jenis lain. Karena itu dalam pelaksanaannya memerlukan juru las yang sudah berpengalaman dengan jenis tersebut. Karena fluks ini sangat baik dalam sifat mampu lasnya maka elektroda dengan fluks ini biasa digunakan untuk konstruksi yang memerlukan tingkat pengaman tinggi seperti konstruksi dengan pelat tebal dan bejana tekan.
- e) Jenis selulosa  
Jenis ini berisi kira-kira 30% zat organik yang dapat menghasilkan gas dengan volume besar yang kemudian melindungi logam cair. Busurnya kuat dan penetrasinya dalam. Terak yang terbentuk hanya sedikit karena itu amat baik untuk pengelasan tegak yang menurun. Karena banyaknya percikan-percikan yang terjadi maka jenis ini tidak dapat menghasilkan manik gas yang halus sehingga tidak banyak digunakan lagi.
- f) Jenis oksida besi  
Bahan pokok untuk jenis ini adalah oksida besi. Busur yang dihasilkan terpusat dan penetrasinya dalam sehingga baik untuk pengelasan sudut horisontal. Walaupun demikian, penggunaannya sedikit sekali.
- g) Jenis serbuk besi oksida  
Bahan utamanya meliputi antara 15-50% silikat dan serbuk besi. Pemindahan butir-butir cairan berupa semburan halus dan tidak banyak percikan. Kecepatan pengisian sangat tinggi sehingga efisiensi juga baik. Jenis ini banyak digunakan untuk pengelasan sudut horisontal dan pengelasan gaya berat.
- h) Jenis serbuk besi titania  
Jenis ini menimbulkan busur yang sedang dan menghasilkan manik gas yang halus. Karena di dalamnya berisi serbuk besi maka efisiensi pengelasannya tinggi. Jenis ini baik untuk pengelasan horisontal satu lapis.

## 2.4 Selotip

Selotip merupakan alat perekat yang memiliki daya tarik antara molekul yang berlainan dan telah dikembangkan dalam berbagai jenis menurut fungsi pemakaiannya. Salah satu contohnya adalah selotip yang digunakan dalam penelitian ini adalah jenis selotip untuk pembungkusan (*packing*) dengan berbagai sifat fisis antara lain : tebal hingga 1,7 mm, berwarna bening (pada umumnya), kedap air, jenis lapisan belakang (*backing*) adalah *polyester*,

jenis *adhesive* adalah *acrylic*. Kekuatan tarik selotip ini rendah (sekitar 22 lbs in<sup>-1</sup>) namun dapat ditingkatkan dengan penambahan serat (*fiber*). Temperatur maksimum hingga 200°F.

## 2.5 Pergerakan Elektroda

Cara menggerakkan elektroda banyak sekali macamnya namun mempunyai tujuan yang sama yaitu mendapatkan deposit logam lasan yang baik dan terhindar dari cacat las [Ref.17 hal.221]. Penting dalam pergerakan elektroda adalah menjaga sudut elektroda dan kecepatan gerakan elektroda yang stabil.

Beberapa gerakan elektroda adalah :

1. Gerakan arah lurus sepanjang sumbu elektroda (*string*)  
Gerakan ini dilakukan untuk mengatur jarak busur listrik agar tetap sama.
2. Gerakan ayunan elektroda (*weaving*)  
Gerakan ini diperlukan dalam mengatur lebar jalur las yang dikehendaki. Ayunan ke atas menghasilkan jalur las yang lebar. Penembusan las pada ayunan ke atas lebih dangkal daripada ayunan ke bawah.

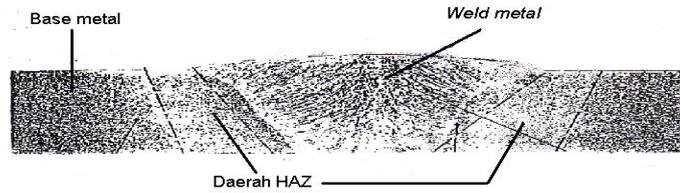
## 2.6 Daerah Lasan

Daerah lasan terdiri dari 3 bagian, seperti Gambar 2.5, yaitu :

1. Logam lasan. Adalah bagian dari logam yang pada waktu pengelasan mencair dan kemudian membeku. Logam yang membeku harus menyatukan komponen atau bagian yang disambungkan dan membentuk komponen yang kontinu. Logam lasan akan terjadi dari campuran beberapa bahan yang diperoleh dari logam pengisi (*filler metal*), logam induk atau juga dari fluks (untuk jenis las dengan menggunakan busur listrik), karena fluks biasanya terdiri dari bahan-bahan tertentu dengan perbandingan yang tertentu pula. Agar diperoleh sambungan yang kontinu diperlukan sebagian dari logam induk (bagian yang akan disambung) turut mencair sehingga terjadi pencampuran logam cair tersebut, hal ini disebut proses dilusi. Garis pemisah antara logam yang tadinya mencair dan tidak mencair disebut garis fusi atau batas las. Ketangguhan logam las tergantung dari strukturnya seperti halnya pada logam induk dan pada batas las. Hanya saja logam las adalah logam yang dalam proses pengelasan mencair dan kemudian membeku, sehingga logam las ini banyak sekali mengandung oksigen dan gas-gas lain. Karena itu untuk menganalisa ketangguhan logam las harus diperhatikan pengaruh unsur lain yang terserap.
2. Daerah pengaruh panas (*HAZ*). Adalah logam dasar yang bersebelahan dengan logam las yang selama proses pengelasan mengalami siklus termal pemanasan dan pendinginan cepat.

Struktur logam pada daerah *HAZ* berubah secara berangsur-angsur dari struktur logam induk ke struktur logam las.

- Logam induk yang terpengaruhi. Adalah bagian logam dasar dimana panas dan suhu pengelasan tidak menyebabkan terjadinya perubahan-perubahan struktur dan sifat.



Gambar 2.5 Pembagian daerah lasan. [Ref. 6 hal. 482]

## 2.7 Pengelasan Bawah Air

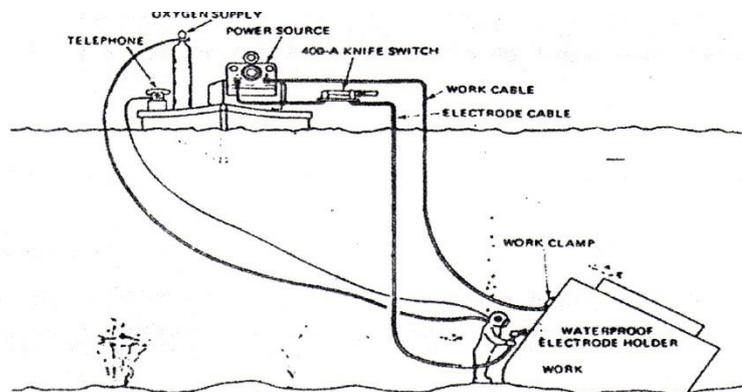
Pengelasan bawah air merupakan pengembangan metode pengelasan yang telah ada sebelumnya dan terdiri atas :

- Wet Welding* (pengelasan basah)

Pengelasan basah dilakukan langsung pada lingkungan yang basah dengan menggunakan elektroda khusus dan pengelasan dilakukan manual seperti pengelasan umumnya, dalam arti bahwa elektroda dan benda kerja berhubungan langsung dengan air. Gerakan lebih bebas sehingga metode pengelasan ini lebih efektif, efisien, dan ekonomis. *Power supply* adalah mesin arus searah (300 - 400 A) yang diletakkan di atas permukaan dan dihubungkan ke welder melalui kabel dan pipa. Arus yang digunakan adalah DCSP. Jika menggunakan arus DCRP, akan terjadi elektrolisis dan menyebabkan kerusakan yang cepat pada tiap komponen logam *holder* elektroda. Arus AC tidak digunakan dengan pertimbangan keamanan dan kesulitan dalam mempertahankan busur cahaya di bawah air. *Holder* yang dipakai memiliki bahan penyekat/isolator tambahan yang tahan air dengan tipe bagian atas yang dapat memutar untuk menjepit elektroda sehingga memungkinkan untuk 2 ukuran elektroda [Ref 9 hal. 2].

Elektroda yang digunakan mengacu pada klasifikasi AWS yaitu E6013 yang tahan air. Aliran yang terjadi harus melalui isolator sehingga tidak ada kontak antara air dan bagian logam. Jika terjadi kebocoran pada isolator dan air menyentuh penghantar logam, arus akan bocor dan tidak mampu menghasilkan busur cahaya. Selain itu pada kabel tembaga akan cepat rusak terutama pada titik awal kebocoran.

Prinsip Kerja *Wet Welding* yaitu benda yang dilas, pada satu sisi dihubungkan ke aliran listrik dan elektroda las pada sisi yang lain. Kedua aliran tersebut dihubungkan bersamaan sesaat lalu secara perlahan dilepaskan. Arus listrik menimbulkan busur cahaya melebur logam yang terbuka dan menghasilkan lubang lasan. Pada saat yang sama ujung elektroda melebur dan cairannya diarahkan ke lubang tadi. Selama proses ini, fluks melindungi elektroda yang melebur untuk menghasilkan gas pelindung yang digunakan untuk menstabilkan busur dan melindungi transfer logam. Busur terbakar dalam *cavity* yang terbentuk pada fluks pelindung yang dirancang agar terbakar lebih lama dibanding elektroda logam. Gambar 2.6 berikut adalah contoh pengaturan pengerjaan *wet welding* tersebut.



Gambar 2.6 Pengaturan pengerjaan *wet welding* [Ref. 6 hal.762].

b) *Dry Welding/Hyperbaric Welding*  
(pengelasan kering)

Pengelasan ini dilakukan pada sebuah ruang khusus yang dibuat di daerah sekitar pengelasan. Ruangan tersebut diisi gas (biasanya helium yang mengandung 0.5 bar oksigen) pada tekanan tertentu. Sekeliling lingkungan tersebut dilapisi pipa yang diisi campuran udara oksigen dan helium pada atau sedikit di atas tekanan sekitar daerah pengelasan. Cara ini menghasilkan sambungan las kualitas tinggi yang sesuai dengan persyaratan kode dan *X-ray*. Daerah di bawah lantai ruangan bersinggungan dengan air. Jadi daerah pengelasan kering namun di sekitarnya merupakan tekanan hidrostatik [Ref. 9 hal. 3].

**2.8 Pengujian Material**

Ada beberapa metode pengujian material yang dilakukan, dan pada bagian ini akan diuraikan beberapa metode pengujian tersebut.

**2.8.1 Pengujian Tarik**

Kekuatan material adalah kemampuan material untuk menahan beban dari luar. Biasanya kekuatan dianggap sebagai kekuatan tarik maksimum (*ultimate tensile strength*). Kekuatan material ini diperoleh dengan uji tarik (*tension test*). Uji tarik adalah metode pengujian untuk memperoleh sifat mekanik material akibat beban tarik satu sumbu (*unaxial*).

Deformasi bahan disebabkan oleh beban tarik statik adalah dasar dari pengujian dan studi mengenai kekuatan bahan, hal ini disebabkan karena :

1. Mudah dilakukan.
2. Menghasilkan tegangan yang seragam pada penampang.
3. Kebanyakan bahan mempunyai kelemahan menerima beban tegangan tarik yang seragam pada penampang.

Maka dalam pengujian bahan industri, kekuatan adalah paling sering ditentukan oleh penarikan statik.

Sifat-sifat mekanik yang diperoleh digambarkan dalam bentuk kurva tegangan-regangan (*stress-strain curve*). Selama penarikan, beban meningkat secara bertahap sampai material patah. Parameter yang diukur adalah beban dan perpanjangan.

Data-data yang dapat diperoleh dari kurva tegangan-regangan adalah :

- Keuletan adalah besar regangan plastik sampai terjadi perpatahan, dapat dinyatakan dalam persentasi perpanjangan, atau biasanya disebut dengan regangan (*e*)

$$e = \frac{L - L_0}{L_0} \times 100\% \dots\dots\dots(2.1)$$

Dimana : L = panjang sesudah patah  
L<sub>0</sub> = panjang awal

Dan reduksi penampang (*c*):

$$c = \frac{A_0 - A}{A_0} \times 100\% \dots\dots\dots(2.2)$$

Dimana : A<sub>0</sub> = luas penampang mula  
A = luas penampang sesudah patah

- Modulus Elastisitas (E) adalah ukuran kekuatan suatu material. Deformasi terjadi bila bahan mengalami gaya. Regangan awal berbanding lurus dengan besarnya tegangan, disamping itu iapun mampu balik (*reversible*). Setelah tegangan diiadakan, regangan lenyap. Regangan linier yang mampu balik ini disebut regangan elastik. Dalam menentukan hubungan antara tegangan dan regangan, luas penampang bahan harus diketahui dengan demikian tegangan yang bekerja dapat ditentukan

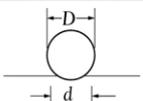
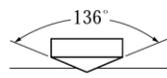
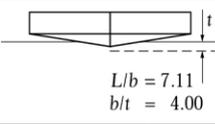
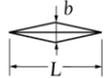
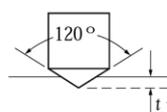
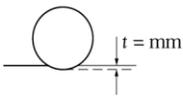
$$\sigma = \frac{F}{A} \dots\dots\dots(2.3)$$

Dimana : σ = tegangan (Pa)  
F = gaya (N)  
A = luas penampang (m<sup>2</sup>)

**2.9.2 Pengujian Kekerasan**

Kekerasan adalah ketahanan bahan terhadap penetrasi pada permukaan. Pengujian kekerasan yang banyak digunakan adalah dengan metode kekerasan penekanan (*indentation hardness*). Metode ini dilakukan dengan menekankan penekan tertentu kepada benda uji dengan beban tertentu dan dengan mengukur ukuran bekas penekanan yang terbentuk di atasnya. Tabel 2.2 adalah ringkasan pengujian kekerasan.

Tabel 2-2 Pengujian Kekerasan.

Test	Indenter	Shape of indentation Side view	Top view	Load, P	Hardness number	
Brinell	10-mm steel or tungsten carbide ball			500 kg 1500 kg 3000 kg	$HB = \frac{2P}{(\phi D) (D\sqrt{D-d^2} - d^2)}$	
Vickers	Diamond pyramid			1-120 kg	$HV = \frac{1.854P}{L^2}$	
Knoop	Diamond pyramid			25g-5kg	$HK = \frac{14.2P}{L^2}$	
Rockwell				kg		
A } C } D }	Diamond cone			60	HRA	} = 100 - 500t
				150	HRC	
				100	HRD	
B } F } G }	$\frac{1}{16}$ in. diameter steel ball			100	HRB	} = 130 - 500t
				60	HRC	
				150	HRC	
E	$\frac{1}{8}$ in. diameter steel ball			100	HRE	

**2.10 Pengamatan Struktur Mikro**

Struktur mikro material adalah struktur yang berupa butir dan distribusi fasa yang menyusun suatu material. Kekuatan material (dan juga sifat material yang lain) sangat ditentukan oleh struktur mikro.

Untuk mendapatkan hasil gambar struktur yang baik, maka spesimen yang digunakan harus memiliki permukaan yang rata, halus dan bebas dari kotoran. Oleh karena itu diperlukan langkah-langkah persiapan spesimen, sebagai berikut :

a. *Sectioning* (pemotongan)

Tahap pertama dalam mempersiapkan spesimen adalah memotong material yang akan diamati

b. *Mounting*

Mencetak spesimen dalam cetakan untuk memudahkan pengekaman.

c. *Fine grinding*

Pada tahap ini spesimen yang telah dicetak dihaluskan dengan menggunakan mesin *polishing* dan *abrasive paper* sampai didapatkan permukaan yang halus dan rata.

d. *Polishing*

Proses ini bertujuan unruk menghaluskan permukaan spesimen dengan menggunakan alumina yang berbentuk serbuk sehingga didapatkan permukaan spesimen yang bersih dari goresan (*scratch*) yang dapat menghalangi pengujian dan permukaan yang mengkilap seperti cermin.

e. *Etching*

Pada permukaan logam yang telah dipoles akan didapatkan permukaan yang halus dan

mengkilap seperti cermin. Permukaan spesimen tersebut kemudian dietsa dengan memberikan zat kimia tertentu dengan cara mencelupkan atau mengoles permukaannya selama beberapa detik, sehingga dapat terlihat adanya perbedaan-perbedaan komponen.

Terdapat beberapa etchant yang umum digunakan sebagai zat kimia dalam proses etsa untuk material besi dan baja, yaitu :

1) Nital

- Komposisi : 5 ml HNO<sub>3</sub> , 100 ethanol atau methanol
- Kelebihan : memperlihatkan batas-batas butir.
- Kegunaan : terutama untuk baja karbon, dapat memperlihatkan perbedaan maksimum antara pearlit, ferit atau martensit, menampakkan batas-batas ferit dan membedakan ferit dan martensit.

2) Picral

- Komposisi : 4 gr picric acid, 100 l ethanol atau methanol.
- Kelebihan : memberikan resolusi terbaik untuk pearlit, martensit temper dan bainit, mendeteksi kandungan karbida.
- Kegunaan : semua jenis baja karbon.

3) Sodium meta bisulfite

- Komposisi : 8 gr Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>5</sub> dan 100 ml air suling atau 1 gr Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ditambah air suling hingga 100 ml.
- Kelebihan : sama sengan picral
- Kegunaan : menggelapkan daerah martensit.

**3. Alur Penelitian**

Sesuai dengan diagram alir Gambar 3.1, langkah-langkah penelitian tersebut adalah :

1. Studi pustaka.  
Sesuai dengan judul yang diambil, mempelajari mengenai ilmu material, pengelasan dan pengujian material serta metalografi. Hasil studi pustaka dapat dibaca pada daftar pustaka.
2. Proses pembuatan spesiman pengelasan.

2.1 Persiapan bahan/material

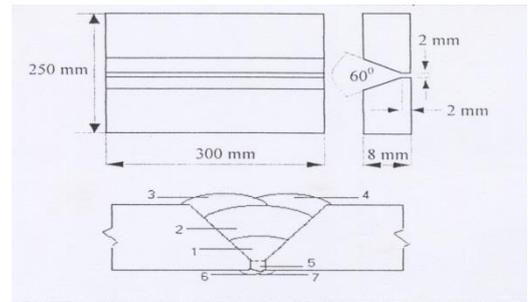
Pada penelitian ini persiapan pengelasan dilakukan di Dinas Penyelamatan Bawah Air (DISLAMBAIR) TNI AL Surabaya dengan menggunakan proses pengelasan listrik SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*) yang terbungkus, kumpuh persegi dan pengelasan dilakuan di dua permukaan bahan. Media air yang dipersiapkan ada 2 (dua) jenis yaitu air laut dan air tawar. Untuk pengelasan air tawar dilakukan dalam bak air dengan ukuran (2000X1000X1000) mm dengan ketinggian air 800 mm dan untuk pengelasan air laut pelaksanaannya dilaut.

2.2 Proses pengelasan

Mesin yang digunakan adalah mesin arus searah (DC) dengan polaritas lurus (elektroda negatif). Arus dijaga konstan pada 137 A dengan tegangan 25 V.

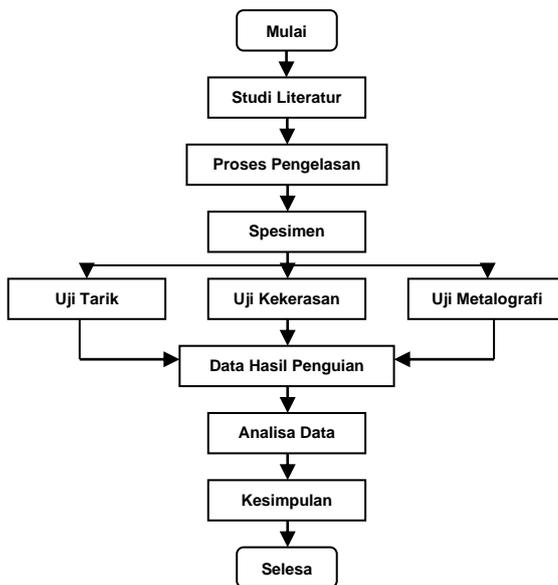
Untuk pengerjaan material standar AWS seperti ditunjukkan pada Gambar 3.2 diatas ini adalah :

- i. Membuat alur pengelasan bentuk V tunggal
- ii. Melakukan pengelasan lapisan ke-1, ke-2, ke-3, ke-4
- iii. Melakukan pengelasan lapisan ke-5, ke-6, ke-7

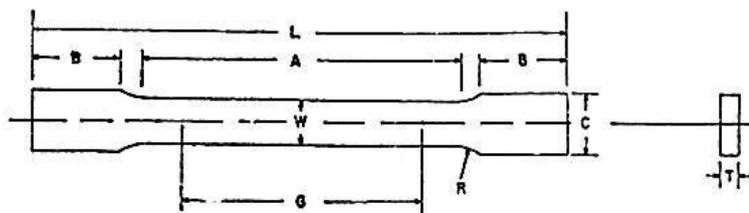


Gambar 3.2 Bentuk alur sambungan las.

3. Pembuatan specimen uji tarik.  
Setelah material dilas, maka dibuat specimen uji yaitu untuk uji tarik, uji kekerasan dan uji mikrografi Untuk uji tarik digunakan standar ASTM E8 seperti Gambar 3.3.



Gambar 3.1 Diagram alir penelitian.



Gambar 3.3. Specimen uji tarik ASTM E8.

Keterangan :

- G (gage length) = 50 mm
- W (width) = 12,5 mm
- R (radius of fillet) = 13 mm
- L (over-all length) = 200 mm
- A (length of reduced section) = 60 mm
- B (length of grip section) = 50 mm
- C (width of grip section) = 20 mm



(a) sebelum dilapisi selotip



(b) setelah dilapisi selotip

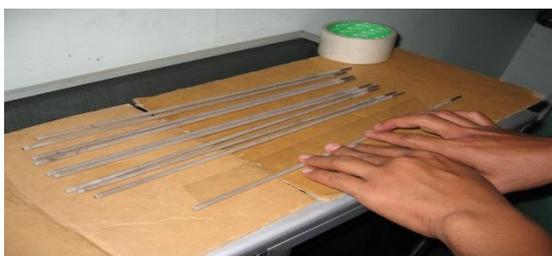
Gambar 3.5 Hasil pelapisan elektroda

### 3.2 Elektroda

Elektroda yang digunakan adalah E6013 (AWS A5.1) jenis RB-26 dengan diameter 3,2 mm yang dilapisi selotip. RB-26 merupakan elektroda terbungkus dengan fluks jenis titania, busur las yang cenderung stabil dengan sedikit percikan dan penetrasi yang dangkal sehingga sesuai untuk pengelasan plat baja dan baja struktur ringan (Ref. 16 hal. 9)

#### 3.2.1 Proses Pelapisan Elektroda

Jenis pelapisan elektroda adalah selotip. Gambar 3.4 menunjukkan proses pelapisan elektroda dengan selotip. Selotip yang digunakan adalah selotip bening yang mudah didapat.



Gambar 3.4 Proses pelapisan elektroda dengan selotip

Gambar 3.5 merupakan perbandingan elektroda sebelum dan setelah dilapisi. Bagian atas adalah elektroda yang tidak dilapisi dan bagian bawah adalah elektroda yang dilapisi selotip.

### 3.3 Uji Tarik

Pengujian tarik pada tugas sarjana ini dilakukan di laboratorium material D III Teknik Mesin UGM Yogyakarta dengan menggunakan alat Universal Machine Test. Adapun langkah-langkah dalam pengujian ini adalah

1. Spesimen uji tarik yang telah dibentuk dikelompokkan menjadi dua kelompok, yaitu pelat baja yang dilas di air laut dan pelat baja yang dilas di air tawar.
2. Memberi tanda *gauge length* sepanjang 50 mm sebagai data untuk perhitungan selanjutnya.
3. Melakukan pengujian tarik.
4. Mengukur ketebalan dan pertambahan panjang spesimen setelah pengujian sebagai data yang akan diolah.
5. Pengolahan data.

### 3.4 Uji Kekerasan

Pengujian kekerasan pada tugas sarjana ini dilakukan di laboratorium material D III Universitas Gajah Mada Yogyakarta. Metode yang digunakan adalah metode uji kekerasan mikro Vickers. Dipilihnya metode ini karena dapat diketahui daerah-daerah pengelasan (*base metal*, *HAZ* dan *weld metal*) dengan melihat perbedaan struktur materialnya.

Adapun langkah-langkah yang dilakukan dalam pengujian kekerasan ini adalah :

1. Persiapan spesimen.  
Spesimen yang digunakan dalam pengujian kekerasan ini adalah sama dengan yang digunakan dalam pengujian mikrofografi, karena teknik pengujian yang digunakan adalah dengan menggunakan alat *micro hardness tester*.
2. Melakukan pengujian.  
Spesimen yang telah rata dan halus siap di uji alat yang dilakukan adalah HMV-M3 Hardness

Tester Shimadzu Micro Hardness Tester. Untuk masing-masing daerah pengelasan (*base metal*, *HAZ* dan *weld metal*) dilakukan tiga kali penelitian dengan arah tegak lurus dengan ketebalan plat dengan jarak dari tepi bawah 0,2 mm dan jarak antara titik sebesar 0,5 mm. Untuk memperjelas penampakan perbedaan antara ketiga daerah lasan tersebut dilakukan pengetsaan dengan larutan *etchant* berupa Nital. Pengujian dilakukan dengan cara menentukan daerah yang akan diuji (*base metal*, *HAZ* dan *weld metal*) melalui lensa pengamat kemudian memberikan beban pada specimen uji sebesar 200 gf dan memberi waktu pembebanan selama lima detik. Jejak diagonal penetrator yang dihasilkan kemudian diukur.

3. Melakukan pengolahan data, data hasil pengujian kekerasan berupa diagonal jejak *penetrator* yang diukur dalam satuan micron. Kemudian diolah untuk mendapatkan angka kekerasan Vickers.

### 3.5 Uji Mikrografi

Pengujian mikrografi berhubungan dengan diagram fasa dan untuk mendapatkan foto fasa dari material digunakan mikroskop, dimana koefisien pembesarnya sangat bervariasi. Pengujian mikrografi dilakukan di laboratorium material D III Universitas Gajah Mada Yogyakarta dengan menggunakan mikroskop Olympus PME 3 yang dilengkapi dengan kamera. Untuk material yang telah di las diambil empat daerah pemotretan, yaitu *base metal*, *Heat Affected Zone (HAZ)*, *weld metal* dan batas antara daerah *HAZ* dan *weld metal*.

Untuk mendapatkan hasil gambar struktur yang baik, maka spesimen yang digunakan harus memiliki permukaan yang rata, halus dan bebas dari kotoran. Oleh karena itu diperlukan langkah-langkah persiapan spesimen, sebagai berikut :

- a) *Sectioning* (pemotongan).
- b) *Mounting*.
- c) *Fine grinding*.
- d) *Polishing*.
- e) *Etching*.

Terdapat beberapa *etchant* yang umum digunakan sebagai zat kimia dalam proses etsa untuk material besi dan baja, yaitu :

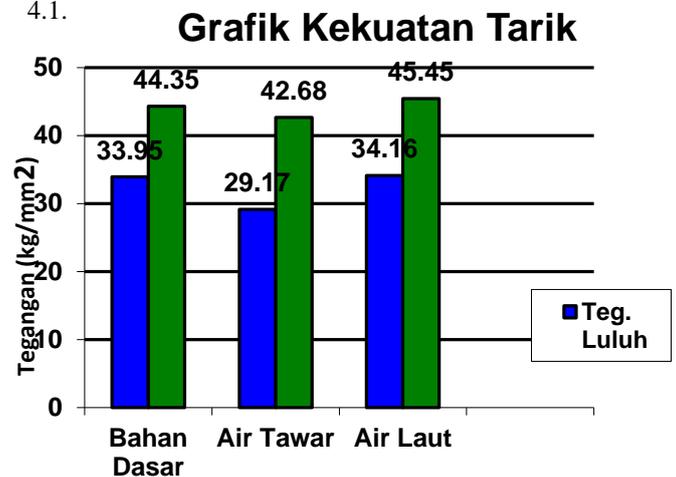
- 1) Nital
  - Komposisi : 5 ml  $\text{HNO}_3$  , 100 ethanol atau methanol
  - Kelebihan : memperlihatkan batas-batas butir.
  - Kegunaan : terutama untuk baja karbon, dapat memperlihatkan perbedaan maksimum antara *pearlit*, *ferit* atau *martensit*, menampakkan batas-batas ferit dan membedakan *ferit* dan *martensit*.
- 2) Pical
  - Komposisi : 4 gr pieric acid, 100 l ethanol atau methanol.

- Kelebihan : memberikan resolusi terbaik untuk *pearlit*, *martensit* temper dan bainit, mendeteksi kandungan karbida.
  - Kegunaan : semua jenis baja karbon.
- 3) Sodium meta bisulfite
    - Komposisi : 8 gr  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$  dan 100 ml air suling atau 1 gr  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$  ditambah air suling hingga 100 ml.
    - Kelebihan : sama sengan pical
    - Kegunaan : menggelapkan daerah martensit.
- Dalam penelitian ini digunakan *etchant* jenis Nital.

## 4. Analisa Hasil Pengujian

### 4.1 Uji Tarik

Pengujian tarik dilakukan pada masing-masing specimen bahan dasar (plat tanpa dilas dan tanpa *heat treatment*), specimen yang dilas dengan Air Tawar dan specimen yang dilas dengan Air Laut. Dari pengujian tarik diperoleh hasil seperti Gambar 4.1.



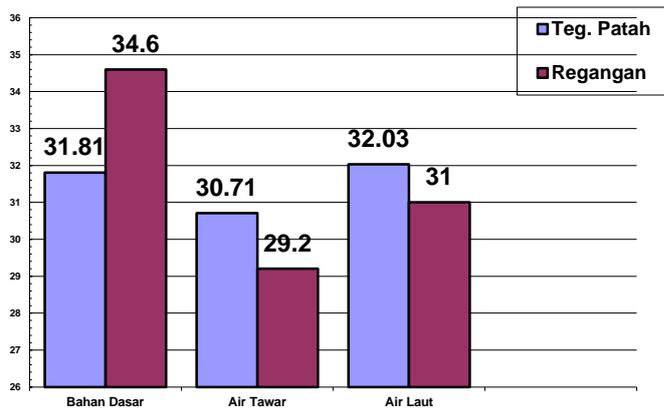
Gambar. 4.1 Perbandingan kekuatan tarik untuk 3 variasi pengelasan.

Proses yang digunakan adalah dengan metode las busur listrik elektroda terbungkus, dengan menggunakan elektroda klasifikasi AWS A5.1 E6013 jenis RB-26 yang diberi selotip dan menggunakan kampuh persegi.

Dari hasil uji tarik yang ditunjukkan gambar di atas dapat dilihat bahwa proses pengelasan sambungan tumpul menyebabkan penurunan kekuatan tarik. Analisa untuk kekuatan tarik menghasilkan kesimpulan bahwa media pengelasan tidak memberi pengaruh banyak terhadap kekuatan tarik. Nilai kekuatan tarik material setelah dilas tidak mengalami perubahan yang besar bila dibandingkan dengan nilai kekuatan tarik pada sifat mekanismaterial sebelum dilas ( $520 \text{ kg/mm}^2$ ). Hal ini dapat dilihat dari table data pengujian kekuatan tarik pada hasil lasan dimana nilai terendah dihasilkan pada pengelasan media air tawar yaitu  $493,13 \text{ kg/mm}^2$  dan nilai tertinggi dihasilkan pada pengelasan media air laut yaitu  $522,53 \text{ kg/mm}^2$ .

Setelah nilai hasil kekuatan tarik tersebut dirata-rata maka nilai kekuatan tarik rata-rata pengelasan media air laut lebih tinggi dibandingkan dengan rata-rata pengelasan media air tawar. Untuk tegangan patah dan regangan dapat dilihat pada Gambar 4.2

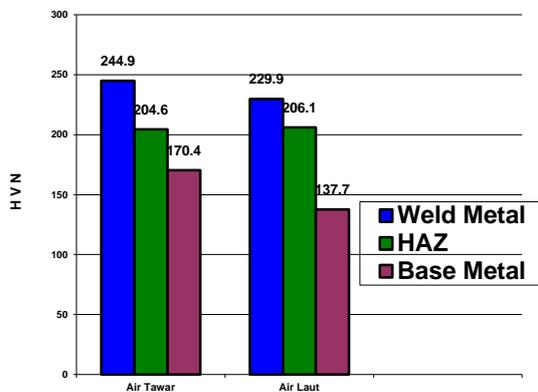
Pada Gambar 4.2 perbandingan tegangan dan regangan bahwa tegangan air tawar sebesar 30.71 % lebih rendah dibandingkan dengan tegangan air laut sebesar 32.03 %. Sehingga keuletan pada pengelasan air tawar lebih rendah dibanding dengan pengelasan air laut Untuk regangan pada air laut 31 % lebih besar dibandingkan dengan air tawar 29.2 %. Sehingga kekerasan pada pengelasan air laut lebih rendah dibanding dengan kekerasan pada pengelasan air tawar.



Gambar 4.2 Perbandingan teg. tarik dan regangan

#### 4.2 Uji Kekerasan

Grafik Angka Kekerasan Vickers



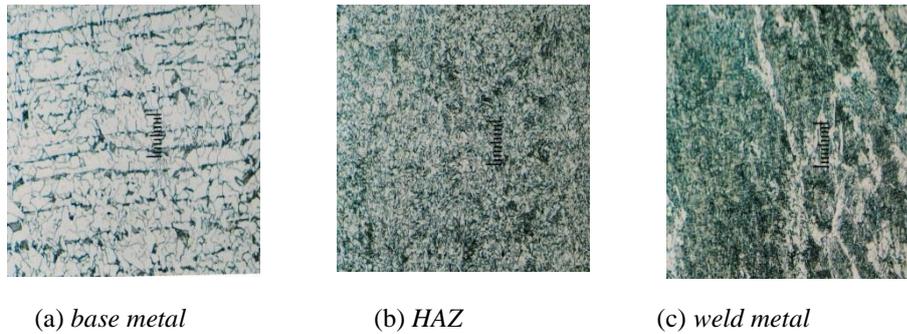
Gambar. 4.3 Perbandingan angka kekerasan variasi media air tawar dan air laut.

Analisa terhadap kekerasan menghasilkan kesimpulan bahwa pengelasan media air laut pada daerah HAZ lebih keras dibandingkan dengan pengelasan media air tawar pada daerah HAZnya. Pada Gambar 4.3 menunjukkan grafik hubungan antara pengelasan di media air terhadap kekerasan dimana pengelasan dengan media air tawar pada daerah weld metal menghasilkan nilai kekerasan yang lebih tinggi sebesar 244,9 HVN dibandingkan dengan pengelasan media air laut pada daerah base metal nilai kekerasannya sebesar 137,7 HVN. Untuk pengaruh media pengelasan, air laut memiliki suhu yang lebih tinggi dibanding air tawar (terutama pada siang hari sebab pengelasan dilakukan pada siang hari) sehingga dapat mempengaruhi pendinginan yang terjadi setelah pengelasan. Pengelasan di bawah air sendiri tentu akan memberi efek pendinginan cepat terhadap hasil pengelasan, ditambah lagi dengan pengaruh suhu sehingga akan mempengaruhi nilai kekerasan. Air laut juga mengandung salinitas atau kadar garam yang berpengaruh pada pembentukan struktur mikro material hasil pengelasan dimana struktur yang terbentuk tidak mengandung martensit dibandingkan dengan pengelasan pada air tawar yang akan menghasilkan struktur mikro dengan martensit yang sangat keras. Selain itu air laut memiliki konsentrasi yang lebih tinggi dibanding air tawar dalam arti mengandung lebih banyak material dibanding air tawar sehingga lebih mudah keruh.

#### 4.3 Pengamatan Struktur Mikro

Uji foto struktur mikro dilakukan dengan mikroskop metalurgi yang dilengkapi kamera. Pada pengujian ini diambil fot dengan pembesaran 200X. Foto yang diambil adalah daerah base metal, HAZ, batas HAZ dan weld metal serta daerah weld metal sendiri. Dengan melihat foto mikro dari material dapat dilihat fase yang terbentuk yang berpengaruh juga terhadap sifat mekanik material seperti nilai kekerasan material dan kekuatan tarik.

Seperti pada material baja karbon rendah lainnya, material yang digunakan dalam penelitian ini mempunyai struktur berupa ferit yang berupa daerah yang terang dan pearlit yang berupa daerah gelap yang terbentuk pada batas butir.



Gambar 4.4 foto struktur mikro pengelasan media air tawar.

Gambar 4.4 diatas menunjukkan pada proses pengelasan air tawar daerah yang paling keras adalah pada daerah *weld metal*. Ditinjau dari struktur mikro daerah ini (*weld metal*) memiliki struktur *ferrite* (daerah terang) lebih banyak dibandingkan dengan daerah *HAZ* dan *base metal* lebih banyak struktur *pearlite* (daerah gelap). Pada daerah *base metal* struktur

*pearlit* lebih banyak dibandingkan dengan daerah *base metal* sehingga pada daerah ini nilai kekerasannya lebih kecil. Pada daerah *HAZ* struktur *pearlit* lebih halus dibanding dengan *base metal* yang kelihatan lebih kasar sehingga kekerasannya lebih rendah dibanding *HAZ*. (perbesaran 200X dengan etsa nital 2 %).



Gambar 4.5 Foto struktur mikro pengelasan media air laut.

Gambar 4.5 diatas menunjukkan pada proses pengelasan air laut daerah yang paling keras adalah pada daerah *weld metal*. Ditinjau dari struktur mikro daerah ini memiliki struktur *ferrite* (daerah terang) lebih banyak dibandingkan dengan daerah *HAZ* dan *weld metal* lebih banyak struktur *pearlite* (daerah gelap) tetapi mudah rapuh. Pada daerah *base metal* struktur *pearlit* lebih banyak dibandingkan dengan daerah *base metal* sehingga pada daerah ini nilai kekerasannya lebih kecil. Pada daerah *HAZ* struktur *pearlit* lebih halus dibanding dengan *base metal* yang kelihatan lebih kasar sehingga kekerasannya lebih rendah dibanding *HAZ*. (perbesaran 200X dengan etsa nital 2 %).

## 5. Kesimpulan dan Saran

### 5.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian ini dapat disimpulkan bahwa pada pengelasan bawah air dengan kampuh persegi yang menggunakan proses pengelasan listrik dengan elektroda terbungkus yang dilakukan di Dinas Penyelamatan Bawah

Air TNI AL Surabaya sambungannya kuat yang dibuktikan pada patahan yang terjadi didaerah base metal.

Untuk hasil pengujian didapatkan :

1. Pengujian kekuatan tarik pada hasil lasan dimana nilai terendah dihasilkan pada pengelasan media air tawar yaitu 29,17 kg/mm<sup>2</sup> dan nilai tertinggi dihasilkan pada pengelasan media air laut yaitu 45,45 kg/mm<sup>2</sup>. Untuk tegangan dan regangan bahwa pengelasan pada air laut lebih ulet dibanding dengan pengelasan pada air tawar akan tetapi kekerasan pada pengelasan air tawar lebih besar dibanding dengan pengelasan pada air laut.
2. Pada media air tawar nilai kekerasan yang lebih tinggi sebesar 244,9 HVN dibanding dengan pengelasan media air laut pada daerah *base metal* nilai kekerasannya sebesar 137,7 HVN.
3. Untuk pengujian mikrofografi 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.

Pada dasarnya pengelasan bawah air hanyalah bersifat darurat (*emergency*) bukan pengelasan yang terencana.

## 5.2 Saran

Penelitian selanjutnya dapat dilakukan terhadap variabel lain seperti tingkat kadar garam, tekanan air, suhu, tebal pelapisan, jenis pelapisan dan kedalaman air.

## Daftar Pustaka

1. **Abraham, Lewis H, et al**, *Standard handbook for Mechanical Engineers*. New York: McGraw-Hill (1967)
2. **ABS**, *Rule Requirements for Materials and Welding*, (2002)
3. **Amstead, B. H, et al**, *Teknologi Mekanik Jilid I & II*, Erlangga, Jakarta (1989).
4. **ASM**, *Metal Handbook : Welding, Science and Engineering. An Introduction*, Third Edition, John Wiley & Sons, Inc, Ney York (1994)
5. **Budinski, Kenneth G**, *Enginering Materials Properties and Selection*. New Jersey: Prentice-Hall (1996).
6. **Cary, Howard B**, *Modern Welding Technology*. New Jersey: Prentice-Hall (1989)
7. **Dieter, George E**, *Mechanical Metallurgy*. London: McGraw-Hill (1988)
8. **Gieck, K**, *Kumpulan Rumus Teknik*. Jakarta: Pradnya Paramita (1997)
9. **Joshi, Amit M**, *Underwater Welding.pdf* (1990)  
[http://www.metalwebnews.com/howto/underwater\\_welding.pdf](http://www.metalwebnews.com/howto/underwater_welding.pdf)
10. **Kobelco**, *Welding Handbook* (2004)
11. **Kalpakjian**, *Manufacturing Engineering and Technology*, Prentice-Hall (2001)
12. **Mouser, Jeffrey D**, *Welding Codes, Standards, and Specifications*, New York, Mc Graw-Hill (1998)
13. **P.L. Jain**, *Principles of Foundry Technology Fourth Edition*, New Delhi : Mc Graw Hill (2003)
14. **T.V. Rajan. C.P. Sharma and Ashok Sharma**, *Heat Treatment Principles and Techniques*, Revised Edition, Prentice-Hall of India, New Delhi (1997)
15. **Widharto, Sri**, *Petunjuk Kerja Las*. Jakarta: Pradnya Paramita (2003)
16. **William T. Squires**, *The Metal Craftsman's Handbook*
17. **Wirjosumarto, Harsono dan Toshie Okumura**, *Teknologi Pengelasan Logam*, Jakarta: Pradnya Paramita (1991)