

**PEMBUATAN ELEKTRODA SHIELDED METAL ARC WELDING (SMAW) UNTUK
PENGELASAN BAWAH AIR DARI MINERAL RUTILE**

**THE MAKING OF SHIELDED METAL ARC WELDING (SMAW) ELECTRODE
FOR UNDER WATER WELDING FROM RUTILE MINERAL**

Surasno dan Kuntari Adi Suhardjo

Balai Besar Bahan dan Barang Teknik-BPKIMI,Kemenerin

Jl. Sangkuriang 14, Bandung 40135, Telp. 022 2504828, Fax. 022.2502027

E-mail: b4t@b4t.go.id

ABSTRAK

Elektroda untuk pengelasan bawah air membutuhkan sifat khusus, yaitu: harus mampu menimbulkan semburan nyala busur, terak yang tumbuh di permukaan deposit logam cair mampu melindungi deposit las dari pengaruh oksida dan kelarutan hidrogen yang rendah. Elektroda tersebut harus memenuhi syarat spesifikasi underwater welding AWS D3.6M: 1999. Adapun percobaan yang telah dilakukan adalah pembuatan elektroda pengelasan bawah air dengan proses awal penentuan jenis kawat, seleksi visual, pelurusan, pemotongan dan pembersihan. Selanjutnya persiapan bahan baku pembungkus yaitu persiapan zat kimia, pengadukan, dicetak bentuk tabung. Adapun variasi formula yang dilakukan adalah sebagai berikut: Formula A yaitu Rutile 75%, Kalsium Karbonat 10%, Serbuk Silika 2,5%, Ferro mangan 15%, binder Natrium silikat 4liter ditambahkan air 300ml, Formula B yaitu Rutile 57%, ferro mangan 15%, hemalit 25%, ferro 4%, binder potasium silicate 3liter ditambahkan sodium silikat 1 liter dan Formula C yaitu Rutile 70%, Kaolin 30%, Binder Potasium Silikat 3 liter ditambahkan Sodium silicate 1liter, kemudian dilakukan pelapisan dengan bees wax. Penggunaan elektroda untuk pengelasan bawah air diuji karakteristiknya yaitu: penyalaan busur, kestabilan busur, uji visual, uji makro dan mikro struktur, serta kekerasan. Kondisi optimal dicapai pada pengelasan mempergunakan elektroda formula C dengan hasil uji penyalaan busur baik 62,9%, kestabilan baik, visual rigi-rigi las cukup, makroskopik baik, mikroskopik tidak terdapat retakan, kekerasan las 267 Hv 0,2 Haz 253 Hv0,2, mudah diproduksi dengan kualitas baik.

Kata kunci: Elektroda las SMAW, las bawah air, mineral rutile dan AWS 3.6M: 1999.

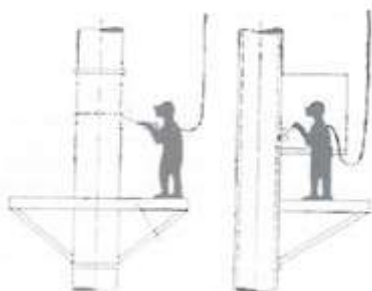
ABSTRACT

Electrode for underwater welding need to have certain specification , it must be able to make a bow form torch burst, the coating which grows on the surface of liquid metal deposit can protect the welding deposit from oxidizing and low hydrogen solvency. Those underwater electrode requirements must meet the underwater welding specification of AWS D3.6M: 1999, there have been a research on the making of underwater welding electrode with the initial process of deciding the wire type, visual selection, straightening, cutting and cleaning. Followed with wrapping material preparation, which is chemical preparation, stirring, molding into tube shape. The formula variation are as the following: Formula A consist of 75% Rutile, 10% Calcium Carbonate, 2,5% Silica Powder, 15% Ferro Mangan, 4L Sodium Silicate binder with 300ml added water. Formula B consists of 57% Rutile, 15% Ferro Mangan, 25% Hemalite, 4% Ferro, 3L Potassium silicate binder added with 1L Sodium Silicate, and formula C consist of 70% Rutile, 30% Kaolin, 3L Potassium Silicate binder added with 1L Sodium Silicate and then coated with bees wax. Electrode usages on underwater welding characteristic are tested by: bow ignition, bow stability, visual test, macro test and micro structure, and also the hardness. Optimal condition on the welding was accomplished by Formula C with a good 62,9% ignition test result, good stability, sufficient welding visual, good macro, no crack found on micro, the hardness level of 267 Hv 0,2 Haz 253 Hv 0,2, easy productivity and good quality

Keywords SMAW welding electrode, underwater welding, rutile mineral and AWS 3.6M: 1999.

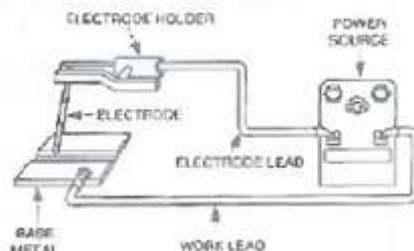
PENDAHULUAN

Anjungan lepas pantai (*Offshore platform*) beserta fasilitas penyaluran produksi minyak dan gas harus tetap terpelihara dan tertindar dari resiko kerusakan yang mungkin terjadi. Pada umumnya kerusakan-kerusakan tersebut terjadi dibawah air misalnya akibat benturan dari kapal, timbul relakan pada sambungan las dll. Sebagai contoh salah satu kasus kerusakan pada sambungan dekat kaki penopangan anjungan lepas pantai (sambungan 3B1-3E, kedalaman 36 feet bawah air). Upaya pemeliharaan pada jaringan pipa distribusi minyak dan gas yang berada dibawah air dengan melakukan penggantian secara berkala untuk sarana proteksi korosi (anoda korban), memerlukan kegiatan perbaikan yang dilakukan dibawah air. Untuk mengatasi hal tersebut, telah dikembangkan salah satu metode perbaikan melalui teknologi pengelasan bawah air dengan cara SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*) merupakan teknologi las paling sederhana. Metode tersebut ada dua cara yaitu pengelasan basah (*Under water welding wet hyperbaric*)



Gambar 1: Teknologi las bawah air

yaitu pengelasan pada bahan yang kontak dengan air, serta pengelasan kering (*Under water welding dry hyperbaric*) yaitu proses pengelasan di dalam *chamber* yang dibawah air, seperti terlihat pada gambar 1. Teknologi proses pengelasan *Shielded Metal Arc Welding* (SMAW) adalah teknik penyambungan melalui peleburan logam induk dan logam pengisi oleh panas yang dihasilkan dari listrik, di antara ujung tip elektroda berpelindung flux dan permukaan logam induk yang dilas melebur, menyerupai proses pengecoran besi dan baja.



Gambar 2. Teknologi pengelasan SMAW

Panas yang timbul akibat busur listrik dan logam pengisi untuk kemudian membentuk logam las. logam pengisi yang berasal dari elektroda bergerak menuju kubangan/kawah las melalui busur listrik antara elektroda dan benda kerja.



Gambar 3: Penyalaan busur.

Pada saat pengelasan berlangsung akan terbentuk gas pelindung hasil dari pembakaran flux pada elektroda seperti terlihat pada gambar 3. Gas pelindung ini berfungsi untuk melindungi busur dan cairan logam las dan lingkungan logam las yang telah membeku dilindungi oleh terak (*slag*) yang terbentuk dari hasil reaksi pelapis elektroda (*Flux*). Tujuan pembentukan terak adalah untuk melindungi logam las dari kontaminasi lingkungan pada saat proses pendinginan dan memperlambat laju pendinginan. Elektroda pada pengelasan SMAW memiliki berbagai macam fungsi yang dapat menentukan kualitas hasil pengelasan. Fungsi-fungsi dari elektroda antara lain sebagai logam pengisi, penghasil busur listrik, pembentuk terak, penghasil gas pelindung (deoksidator) dan pengikat. Untuk pengelasan bawah air membutuhkan sifat khusus (harus memenuhi spesifikasi *underwater welding AWS D3.6M:1999*) yaitu: Harus mampu menghasilkan kualitas semburan nyala busur listrik yang baik. Nyala busur harus stabil. Melindungi lelehan logam las pada saat

deposisi. Mampu mendeoksidasi logam las. Mencegah kontaminasi udara terhadap logam las. Mengontrol bentuk dan ukuran manik lasan. Dapat mentranfer elemen paduan ke logam yang di las. Rigi-rigi las harus rata, pertumbuhan spatter rendah, tidak terjadi retak panas atau retak dingin. Tingkat porositas rendah. Nilai keras maksimum 375 Hv. Struktur mikro selain martensit. Terak yang tumbuh di permukaan deposit logam cair, mampu melindungi deposit las dari pengaruh oksida dan kelarutan hidrogen yang rendah. Elektroda dalam pengelasan SMAW memiliki berbagai jenis logam pengisi dan pembungkus elektroda antara lain, selulose, rutile, asam dan basa. Elektroda SMAW terdiri dari bahan kawat inti baja karbon rendah (SWRY11) dan pembungkus. Elektroda SMAW merupakan logam pengisi atau penambah untuk suatu sambungan tetap logam baja melalui proses pengelasan SMAW. Metode pengelasan SMAW bawah air akan memerlukan modifikasi pada beberapa peralatan tambahan. Hal tersebut diperlukan sebagai langkah pengamanan untuk mencegah terjadinya kebocoran nyala busur serta perlindungan terhadap elektroda las terhadap kondisi lingkungan yang lembab dan basah. Upaya untuk meningkatkan perbaikan kualitas hasil pengelasan serta kemudahan pelaksanaan pengerjaan pengelasan bawah air akan bergantung pada pengembangan dan rekayasa material elektroda las yang dapat memberikan hasil yang sesuai dengan kriteria perbaikan dan standar acuan AWS D3.6M:1999). Elektroda berupa batangan berbentuk bulat yang terdiri dari kawat inti baja SWRY 11 dibalut atau dibungkus menggunakan bahan-bahan paduan atau oksida logam organik atau bahan anorganik. Selama ini bahan kawat dapat dipenuhi dari dalam negeri yaitu PT Krakatau Steel sedangkan bahan-bahan pembungkus sebagian besar masih import. Industri elektroda di Indonesia memproduksi elektroda untuk kebutuhan dalam negeri maupun ekspor. Pada umumnya industri menggunakan lisensi produk dari luar negeri, demikian pula peralatan produksinya menggunakan produk luar negeri dengan skala 20 kg. Sedangkan bahan-bahan pembungkus terdiri dari ferro-mangan, kalsium karbonat, litium oksida, ferro oksida, binder dan lain merupakan formula untuk pembuatan elektroda (type acid

type pembungkus rutile, tipe pembungkus basic dan tipe pembungkus selulosa). Produk ini sudah umum digunakan pada kalangan industri elektroda las SMAW. Produk elektroda spesifik seperti elektroda pengelasan bawah air (*underwater welding wet SMAW*) termasuk barang yang sulit diperoleh keberadaannya di Indonesia karena kebutuhan masih rendah dan harganya sangat mahal sehingga perlu melaksanakan penelitian dan pengembangan di bidang elektroda tersebut. Tujuan penelitian ini adalah untuk menghasilkan kualitas lasan yang baik, tidak ditemukan cacat las dan memiliki kekuatan sambungan las yang ideal dan sesuai dengan kekutan logam induk. Hasil penelitian ini diharapkan mampu mengatasi kekurangan/ kelemahan yang terdapat pada hasil pengelasan bawah air dengan menggunakan produk elektroda sejenis dari import. Selain itu penelitian ini juga berpotensi untuk memasukkan devisa dengan mengeksport produk elektroda ke negara tetangga yang membutuhkan, serta meningkatkan kandungan lokal sarana pengelasan bawah air.

BAHAN DAN METODE.

Bahan.

Komposisi elektroda las sebagai bahan pengisi dalam proses pengelasan SMAW terdiri dari kawat inti dari plat baja karbon rendah AISI 1015 dan pembungkus dari bahan flux yang terdiri dari rutile yang dapat membantu penyalaan busur listrik dengan kuat, calcium carbonate, silica powder, ferro mangan hematite, ferro, kaolin sebagai pelindung busur listrik pada saat proses pengelasan dalam air, penurun panas dan mengurangi spatter, quartz, lavender, magnesium carbonate dan binder.

Peralatan

Mixer untuk mencampur binder dan flux, alat ekstrusi untuk menekan flux dan rol kawat pendorong kawat, furnace untuk pemanas.

Metodologi Penelitian.

Percobaan yang telah dilakukan adalah sebagai berikut:

Melakukan pra penelitian dengan menguji karakteristik elektroda import (*Reverse Engineering*) untuk menentukan kondisi pengelasan (kuat arus pengelasan). Persiapan

Material dengan menentukan jenis kawat. Persiapan kawat dengan melakukan seleksi visual, pelurusan, pemotongan dan pembersihan. Persiapan bahan baku melakukan penimbangan zat kimia, pengadukan, dicetak bentuk tabung. Percobaan pembuatan elektroda las SMAW sesuai dengan formula yang telah ditentukan berdasarkan hasil dari studi pustaka, studi lapangan dan pra penelitian. Selanjutnya dilakukan pelapisan dan pengeringan. Hasil pengelasan bawah air diuji terhadap penyalaan busur, kestabilan busur, uji visual, uji metalografi (makroskopik dan mikrostruktur) dan kekerasan, selanjutnya menentukan kondisi optimum, diagram alir percobaan dapat dilihat pada gambar 4 berikut ini:



Gambar 4: Diagram Alir Percobaan

Prosedur kerja

Bahan baku ditimbang dan disiapkan, dimasukkan pada mesin pengaduk, kemudian dilakukan pengadukan. Selanjutnya masuk kemesin penggiling bahan digiling. Proses berikutnya bahan masuk ke mesin pencetak dilakukan pencetakan, masuk mesin ekstrusi dilapis dengan beeswax, penirisan dan terbentuk produk jadi dengan mesin berikut ini:



HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisa data hasil percobaan pembuatan elektroda SMAW untuk pengelasan bawah air

- Sebagai pembanding telah dilakukan pengujian terhadap elektroda SMAW tipe 1 Import. Elektroda ini dilapisi aluminium dan parafin sebagai bahan anti korosi dan kedap air. Kawat inti baja karbon

rendah dari elektroda las tipe 1 import dari hasil pengujian mengandung: 0,014% karbon, 0,06% silikon, 0,37% mangan, 0,014% fosfor, 0,011% sulfur, 0,05% tembaga 0,10 nikel, 0,03% khrom.

Bahan pembungkus terdiri atas (Flux) rutile 45,4%, ferro 17,9%, quartz 24,5%, lavendulan 19,4% magnesium carbonat 12,7% dan binder tidak terukur.

Hasil pemeriksaan kualitas pengerjaan pengelasan diperoleh data sebagai berikut: Nilai uji kekerasan pada weld metal berkisar 341 Hv 5, pada HAZ 261 Hv 5 dan pada base metal 107 Hv 5 setelah jadi deposit las. Difusi rasio 50% penetrasi, setelah dijadikan deposit las. Hasil pemeriksaan struktur mikro melalui *Scanning Electron Microscope* menunjukkan adanya retakan pada penampang las. Hal ini diperkirakan terjadi karena pengelasan yang tidak tepat, kemungkinan terjadi difusi hidrogen ketika berlangsungnya pengelasan dan proses pendinginan yang sangat cepat, sehingga terjadi retakan seketika, atau pada daerah ini terjadi struktur yang keras dan rapuh. Sedangkan kawat ini baja karbon rendah yang dipergunakan untuk percobaan dengan bahan pembungkus sesuai formula A, B dan C adalah sama, yaitu dari hasil pengujian mengandung : 0,06% Karbon, 0,018% Silikon, 0,528% Mangan, 0,018% Fosfor, 0,014% Sulfur, 0,06% Tembaga.

- Hasil percobaan pembuatan elektroda SMAW untuk pengelasan bawah air dengan komposisi bahan pembungkus menggunakan formula A.

Dari hasil pengamatan pada proses pembuatan elektroda SMAW ternyata bahwa selama ekstrusi pada mesin terjadi pengerasan pada adonan sehingga terjadi kenaikan tekanan sampai mendekati 300 kg/cm². Proses pencetakan elektroda mengalami kegagalan (produksi hanya sedikit, lebih banyak yang terbuang). Hal ini disebabkan terjadinya pengerasan secara cepat sehingga elektroda batangan tidak dapat keluar dari mesin ekstrusi. Hasil pengelasan: permukaan seragam,

penampang las cukup baik, penetrasi cukup baik, kekerasan cukup memenuhi.

- Hasil percobaan pembuatan elektroda SMAW untuk pengelasan bawah air dengan komposisi bahan pembungkus menggunakan formula B.

Dari hasil pengamatan ternyata pada proses pembuatan elektroda las ternyata bahwa proses ekstrusi berlangsung baik dan 70% produk berhasil. Pada saat pengelasan, elektroda mudah terbakar sehingga hasil las banyak mengandung porositas.

- Hasil percobaan pembuatan elektroda SMAW untuk pengelasan bawah air dengan komposisi bahan pembungkus menggunakan formula C.

Dari hasil pengamatan pada proses pembuatan elektroda las ternyata proses ekstrusi berlangsung baik dan produk berhasil. Oleh karena itu Elektroda SMAW untuk pengelasan bawah air dengan bahan pembungkus mempergunakan formula A dan B dianggap gagal, dan kondisi optimal dicapai dengan bahan pembungkus mempergunakan formula C. Selanjutnya yang akan dijelaskan adalah pengujian terhadap hasil percobaan dengan bahan pembungkus mempergunakan Formula C.

Hasil pengujian parameter pengelasan polaritas *Direct Current Electrode Negatif (DCEN)* dan *Direct Current Electrode Positif (DCEP)* pada kondisi air tawar dan air laut.

Hasil pengujian pengaruh Heat Input (H.I) terhadap penyalan dan kestabilan busur pada pengelasan air tawar DCEN dan DCEP dapat dilihat pada tabel 1 dan untuk pengujian pada air laut dapat dilihat pada tabel 2..

Hasil pengamatan visual, pada kondisi pengelasan dibawah air tawar ternyata bahwa penyalan busur dan kestabilan busur las pada lingkungan air tawar pada arus 135A, nyala busur sulit dan tidak stabil. Kelika busur mulai menyala, elektroda cenderung menempel pada logam induk dan cenderung kearah padam. Pada tingkat arus 160A maupun arus 190A, nyala dan kestabilan busur baik.

Tabel 1. Pengaruh Heat Input Pada Pengelasan Air Tawar DCEN dan DCEP

sampel uji pada arus 160A/190A	H I (kJ/mm)	Penyalaa n busur	Kestabilan busur
2FM-DCEN-P2	1,04	mudah	stabil
1FB-DCEN-P2	1,29	mudah	stabil
2FM-DCEP-P2	1,42	mudah	stabil
1FB-DCEP-P2	2,79	mudah	stabil

Catatan: 1F,Posisi Filet Miring, 2F: Posisi Filet Tegak Lurus, M,Makro, B,Breaking, DCEN: Polaritas negative, DCEP: polaritas positif, P:Plat Uji

Hasil pengamatan visual, pada kondisi pengelasan dibawah air laut ternyata bahwa penyalaa busur dan kestabilan busur las pada lingkungan air laut pada arus 135A, nyala dan kestabilan busur sulit dan tidak stabil. Ketika busur mulai menyala, elektroda cenderung menempel pada logam induk dan cenderung kearah padam. Pada lingkat arus 160A, kecenderungan nyala busur baik, tetapi kurang stabil. Pada arus 190A nyala dan kestabilan busur baik. Hal ini dapat terjadi karena kenaikan arus akan mempengaruhi banyaknya perpindahan elektron yang terlepas dari katoda. Semakin tinggi arus pengelasan, semakin banyak elektron yang terlepas dari katoda menumbuk anoda. Pada arus pengelasan 160A, penyalaa busur dan kestabilan busur cukup dan pada arus 190A, nyala busur dan kestabilan busur lebih baik terutama pada pengelasan di bawah air laut. Untuk menjamin terjadinya pergerakan electron dari katoda ke anoda dibutuhkan arus listrik dari sumber arus (mesin las) yang cukup besar. Oleh karena itu pemakaian arus 160A cukup baik dan arus 190A baik.

Tabel 2. Pengaruh Heat Input Pada Pengelasan Air Laut DCEN dan DCEP

Sampel uji pada arus 190A	H.I (kj/mm)	Penyalaa n busur	Kestabi lan busur
2FM-DCEN-P3	1,04	mudah	stabil
1FB-DCEN-P2	1,29	mudah	stabil
2FM-DCEP-P3	1,42	mudah	stabil
1FB-DCEP-P2	2,79	mudah	stabil

Catatan: 1F: Posisi Filet Miring, 2F: Posisi Filet Tegak Lurus, M,Makro, B,Breaking, DCEN: Polaritas negative, DCEP: Polaritas positif, P:Plat Uji

Perbedaan penyalaa dan kestabilan busur di air tawar dan air laut dapat dijelaskan dengan teori penyalaa busur listrik. Busur listrik timbul akibat pergerakan electron dari katoda ke anoda, pergerakan ion dari anoda ke katoda dan tabrakan antara electron dan ion di celah antara benda kerja dan elektroda. Elektron dan ion merambat sangat baik di air laut. Hal itu disebabkan karena air laut mempunyai kandungan ion seperti ion Na⁺ dan ion Cl⁻ dalam jumlah besar. Hal tersebut menyebabkan tingkat kebocoran arus (perambatan listrik) keluar dari celah antara benda kerja dan elektroda menjadi tinggi. Hal lain yang mempengaruhi welder ketika menjaga jarak celah antara katoda dan anoda, jika jarak celah stabil dari saat penyalaa busur hingga akhir pengelasan, maka nyala busur tersebut akan stabil. Pada pemakaian arus yang sama, untuk welder yang berbeda, akan turut berpengaruh pula pada kualitas las. Hal tersebut disebabkan oleh keadaan masing-masing tingkat kemampuan welder ketika menjaga kestabilan busur las. Pada simulator air tawar, pemantulan air oleh dinding simulator menimbulkan banyak gelombang yang mempengaruhi gerakan welder ketika melakukan pengelasan. Hal tersebut merupakan kesulitan yang cukup tinggi untuk diatasi.

Tabel 3: Uji Visual Hasil Pengelasan

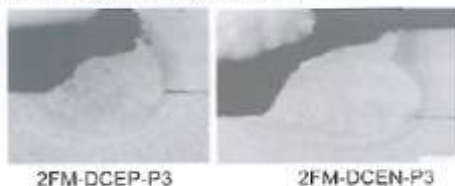
Sampel uji	Pemisitas	Relakan	Undercut	lrg/lrg	Sdg/lrg	Sdg/bek
2FM-DCEN-P2	TA	TA	TA	Sdg	TA	
1FB-DCEN-P2	TA	TA	TA	lrg	Sdg	
2FM-DCEP-P2	TA	TA	TA	Sdg	TA	
1FB-DCEP-P2	TA	TA	TA	Sdg	Sdg	
2FM-DCEN-P3	TA	TA	TA	Sdg	TA	
1FB-DCEN-P2	TA	TA	TA	Sdg	TA	
2FM-DCEP-P3	A	TA	TA	Sdg	Sdg	
1FB-DCEP-P2	TA	TA	TA	Gg	TA	

Catatan: 1F: Posisi Filet Miring, 2F: Posisi Filet Tegak Lurus, M,Makro, B,Breaking, DCEN: Polaritas negative, DCEP: polaritas positif, P:Plat Uji, TA: tidak ada, Sdg: sedang, Sdk: sedikit

Kondisi simulator air laut relatif lebih mudah, karena tidak adanya dinding-dinding sehingga lidak memicu pantulan gelombang air yang mempengaruhi pergerakan welder.

Perbedaan yang mendasar terjadi pada pengelasan air tawar dan air laut adalah cacat-cacat pengelasan yang terlihat pada tabel 3 yaitu Uji visual hasil pengelasan, pendinginan

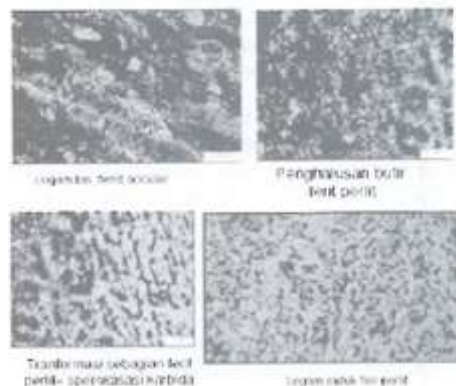
berlangsung. Retakan terjadi pada semua sampel uji. Porositas secara umum tidak ada kecuali pada sampel 2FM-DCEP-P3 pada pengelasan dilingkungan air laut. Hal ini mungkin terjadi karena pelapis elektroda telah rusak ketika pengelasan berlangsung, sehingga air dapat merembes masuk kedalam fluks pembungkus elektroda menuju logam cair dan air tersebut akan bereaksi membentuk gas. Gas yang terakumulasi di dalam logam las cair akan membentuk lubang-lubang porositas, yang merupakan tempat keluarnya gas ketika proses pendinginan berlangsung. Retakan terjadi pada semua sampel uji. Perubahan struktur mikro pada logam induk dan logam las tidak membentuk struktur martensit (struktur Fe dan C) yang keras dan rapuh, sehingga terjadi retakan walaupun proses pengelasan dilakukan pada lingkungan air. Cacat undercut secara umum tidak ditemukan. Cacat rigi-rigi las pada tingkatan dan cukup. Cacat ini lebih banyak disebabkan oleh factor teknis yaitu kemampuan atau ketrampilan welder kurang karena jarak pandang didalam air tebalas kurang lebih 30 cm. Cacat-cacat ini dapat dikurangi dengan alat bantu berupa alat penerangan dibawah air. Slag/terak pada pengelasan di air tawar lebih mudah dilepas dari pada pengelasan didalam air laut. Pada umumnya terak yang tertinggal pada permukaan sampel uji sedikit. Pemeriksaan struktur makro tidak dilakukan pada semua sampel uji las hanya dilakukan pada beberapa sampel uji secara visual pada nilai cukup yaitu : Pada sampel uji 2FM-DCEP-P3 dan 2 FM DCEN-P3. Hasil pemeriksaan struktur makro tidak ditemukan retakan dan porositas, dilusi atau penetrasi logam pengisi seperti terlihat pada gambar 5. Hasil pemeriksaan struktur makro.



Gambar 5: Hasil Pemeriksaan Struktur Makro.

Pengelasan polaritas balik menghasilkan dan manik las lebar, sedangkan pengelasan polaritas lurus menghasilkan penetrasi dalam

dan manik las sempit. Peningkatan arus akan menaikkan temperatur puncak, sehingga penetrasi las semakin mendalam. Oleh karena itu, hasil pengelasan pada sampel uji di air tawar, dengan arus 190A, polaritas DCEP, akan menghasilkan penetresi lebih dalam dibandingkan pada sampel uji dengan arus 160A, polaritas DCEP. Standar perbandingan kualitas hasil las pada penelitian ini adalah AWS D3.6M kelas B. Standar mempersyaratkan bahwa sambungan las tidak diperkenankan terdapat retakan, undercut lebih dari 1,5mm dan kelompok porositas diameter tidak lebih dari 1,5 mm. Dengan demikian pada semua sampel uji yang dilakukan pengelasan memenuhi persyaratan kualitas AWS D3.6M kelas B. Permukaan sampel uji yang berhubungan langsung dengan nyala busur mengalami pemanasan yang paling tinggi, sehingga mengalami pencairan. Daerah yang disebelahnya, kondisi temperatur lebih rendah dan tidak mengalami pencairan. Perbedaan daerah pengelasan terjadi karena perbedaan temperatur puncak dan laju pendinginan yang dialami oleh setiap daerah. Dengan demikian bertambahnya jarak suatu daerah dari logam las maka temperatur puncak yang dialami oleh suatu daerah tersebut semakin rendah.



Gambar 6: Hasil Pengamatan HAZ (Heat Affected Zone / Daerah Pengaruh Panas)

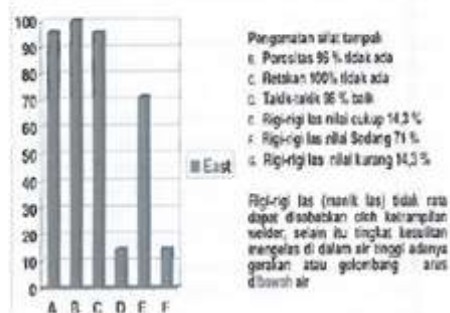
Perbedaan daerah mencerminkan perbedaan fasa yang terbentuk. Pada titik tertentu, logam induk tidak terpengaruh akibat pemanasan busur listrik. Oleh karena itu, pada perbedaan jarak daerah sambungan las terbagi menjadi

3 daerah utama yaitu daerah logam las, HAZ (*Heat Affected Zone* Daerah Pengaruh Panas) dan daerah logam induk. Daerah HAZ dibagi lagi menjadi beberapa sub daerah yaitu daerah pengerasan butir, daerah penghalusan butir dan daerah transformasi sebagian. Gambar 6 Hasil pengamatan HAZ. Memperlihatkan daerah pengerasan butir pada HAZ hasil pengelasan. Butir yang terbentuk adalah logam las ferrit acicular (seperti terlihat pada gambar 6) yang terbentuk berukuran besar daerah ini berada tepat disebelah logam las sehingga mengalami pemanasan yang paling tinggi. Ukuran butir yang besar membuat produk transformasi di batas butir menjadi lebih sedikit karena batas butir menjadi lebih kecil. Hal tersebut membuat α -martensit dan bainit menjadil lebih mudah terbentuk di dalam austenite. Fasa α -martensit merupakan fasa yang paling dominan terbentuk di daerah pengerasan butir, karena laju pendinginan yang sangat cepat. Daerah penghalusan ferit perlit (seperti terlihat pada gambar 6) memiliki ukuran butir yang lebih kecil dibandingkan dengan ukuran butir pada daerah lain pada HAZ. Pada saat pemanasan terjadi transformasi fasa menjadi austenite, karena fasa austenite tidak memiliki waktu cukup untuk tumbuh sehingga menyebabkan ukuran butirnya tetap kecil. Hal ini disebabkan karena temperature puncak daerah penghalusan sekitar 1000°C. Tidak terlalu tingginya temperatur puncak dikarenakan jarak dari sumber panas yang relative jauh. Ketika pendinginan berlangsung, maka transformasi fasa menyebabkan terbentuknya fasa ferit- perlit akibat laju pendinginan yang relative lambat dibandingkan daerah pengerasan butir. Daerah transformasi sebagian ferit perlit +speroidisasi karbida (seperti terlihat pada gambar 6), daerah ini merupakan daerah jauh dari sambungan las mengalami transformasi, sebagian terbentuk speroidisasi dari karbidanya. Temperatur puncak yang dialami oleh daerah ini sekitar 750°C-900°C. Ferit pada daerah logam induk akan bertransformasi menjadi fasa austenite. Karena temperature yang rendah, fasa austenite menjadi kaya akan unsur C. Akibatnya fasa austenite bertransformasi menjadi fase perlit, bainit atas dan α -martensit. Terbentuknya fasa-fasa ini diakibatkan oleh laju pendinginan yang dialami oleh daerah ini. Oleh karena laju pendinginan yang tidak seragam maka transformasi yang terjadi tidak seragam.

Pengujian kekerasan dilakukan untuk mengetahui sifat mekanik dari hasil pengelasan bawah air. Hasil pengujian terlihat pada tabel 4. Nilai keras di daerah lasan dan HAZ. Nilai keras rata-rata pada HAZ dan logam las secara umum, cenderung tidak berbeda jauh. Pada polaritas DCEP maupun DCEN nilai keras daerah HAZ tidak tinggi. Hal ini disebabkan oleh laju pendinginan yang seragam. Standar nilai keras maksimum untuk HAZ dan logam las menurut AWS D3,6M kelas B adalah 375 Hv. Nilai keras tertinggi pada tabel 4 adalah 267 Hv , maka sampel uji semuanya telah memenuhi standar kualitas AWS D3.6M kelas B.

Tabel 4. Nilai Keras di Lasan dan HAZ

Sampel uji	Nilai keras logam las	Nilai keras HAZ	Lingkungan las
2FM-DCEN-P3	242,71	228,12	Air tawar
1FB-DCEN-P2	267,29	247,46	Air tawar
2FM-DCEP-P3	223,07	208,33	Air laut
1FB-DCEP-P2	238,98	253,33	Air laut



ANALISA TEKNO EKONOMI.

Metoda kalkulasi biaya berdasarkan pemakaian bahan dan sewa fasilitas. Untuk setiap pembuatan 13,5 kg:

Rutile 16 kg a 41.000	Rp 656.000,-
Kaolin 6 kg a 41.000	Rp 246.000,-
Parafin Beeswax 1 kg	Rp 100.000,-
Kawat SWRY 20kg a29.000	Rp 580.000,-
Binder 4L a 100.000	Rp 400.000,-
Sewa Mesin dan Teknisi	Rp 3.200.000,-
JUMLAH	Rp 5182.000,-

Pajak 15%	Rp 777.300,-
Biaya Pembuatan	Rp 5959.300,-
Harga jual per kg (13,5 kg)	Rp 441.429,-
Harga pasaran ex Singapura	Rp. 2.581.000,-
Selisih harga jual	Rp 2.139.571,-

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

1. Penyalaan dan kestabilan busur meningkat sebanding dengan kenaikan arus listrik pengelasan. Pada arus 160A menghasilkan penyalaan dan kestabilan busur yang baik. Pada arus 190A menghasilkan penyalaan dan kestabilan yang terbaik untuk kondisi pengelasan di air tawar maupun air laut.
2. Hasil pemeriksaan visual pada umumnya rigi-rigi las (manik-manik) pada permukaan las kurang rata terutama pada arus rendah 135A kurang, pada arus 160A dan 190A sedang dan cukup.
3. Rigi-rigi las (manik las) tersebut dapat terjadi disebabkan oleh welder yang kurang terampil, karena tingkat kesulitan mengelas dalam air tinggi dengan adanya gelombang air terutama pada air tawar.
4. Hasil pengamatan maskroskopik secara umum pada penampang las filet tidak menunjukkan adanya porositas, retakan dan takikan yang membahayakan untuk konstruksi las underwater wet SMAW.
5. Hasil pengamatan mikrostruktur pada penampang las daerah pengaruh panas (HAZ) terdiri dari daerah pengerasan butir struktur bainit dan δ -martensit, daerah penghalusan butir struktur ferit-perlit dan daerah perubahan fasa sebagian struktur sferoidisasi dari karbidanya dan ferit-perlit. Demikian pula daerah las struktur feritasikular dan struktur Widmanstalen adalah struktur yang umum terjadi pada pengelasan. Pada daerah ini tidak terdapat retakan maupun porositas.
6. Hasil pengujian nilai keras rata-rata maupun tertinggi pada HAZ lebih rendah dari persyaratan AWS D3.6M:1999, sehingga nilai keras memenuhi persyaratan standar.

Saran

1. Dari hasil pemeriksaan visual, terjadinya cacat pengelasan berupa rigi-rigi las yang tidak rata, disebabkan oleh juru las yang kurang terampil, sehingga perlu diberikan pelatihan juru las *Under water wet welding* proses SMAW.
2. Untuk dapat menghasilkan sambungan las yang baik dan memenuhi spesifikasi pengelasan dalam air, perlu menggunakan system las otomatis untuk menghindari faktor kesalahan manusia yang cukup besar berpengaruh terhadap kualitas las.
3. Percobaan pengelasan berikutnya dapat menggunakan cara multipass (berulang) sehingga ukuran effective throat dapat mencapai 0,7 tebal bahan, sehingga dapat dilakukan uji mekanik kekuatan geser.

Daftar Pustaka

- ASM Handbook Vol 6, 2003, "Welding, Brazing and Soldering, Shielded Metal Arc Welding, Under Water Welding and Cutting", Sixth Printing, Vol 6 The ASM Handbook Committee.
- Aji Daisman, Bayu, 2002, "Pengelasan Bawah Air", Tugas sarjana, Tenis Mesin ITB.
- American Welding Society, 1999, "AWS D3.6M Class B".
- ASM Handbook Vol 9, 2004, "Metallography and Microstructure", ASM International.
- Cary, Howard B, 1989, "Modern Welding Technology" 2nd ed, Prentice Hall
- Giachino, W Weeks, G S Johnson, 1973, "Welding Technology" an atp Publication.
- Rao P.N, 1999, "Manufacturing Technology, Foundry, Forming and Welding", Faculty of Mechanical Engineering, Insitute Technology MARA, Shah Alam, Malaysia, Tata McGraw-Hill Publishing Company Limited.

S0300-BB-MAN-010, 0910-LP-111-3300, 1995," *U.S Navy Under Water Cutting & Cutting Manual*" Published by Direction of Commander, Naval Sea System Command.

Surasno et al, 2006," Aplikasi Elektroda Under Water Welding SMAW Pada Pelat Baja dan Pipa Baja", Departemen Perindustrian, Badan Penelitian dan Pengembangan Industri, Balai Besar Bahan dan Barang Teknik.

Welding Handbook, Vol 3, 1976," *Fundamental of Welding, Underwater Welding dan Cutting*", seventh ed, AWS.

Wiryo Sumarto, Harsono, 1996," *Teknologi Pengelasan*", Pradny Paramita.