

WELDABILITY, WELDING METALLURGY, WELDING CHEMISTRY

Sarjito Jokosisworo
Program Studi Teknik Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Diponegoro

ABSTRAK

Sambungan las merupakan bagian penting dari struktur/bangunan yang dilas, dan kunci dari logam induk yang baik adalah kemampuan las (*weld ability*). Kemampuan las yang baik dan kemudahan dalam fabrikasi dari suatu logam merupakan pertimbangan dalam memilih suatu logam untuk konstruksi.

Key Word : *Weld ability*

PENDAHULUAN

Kemampuan untuk dilas ditentukan oleh beberapa faktor, diantaranya:

- ◆ *Welding Metallurgy* (Metalurgi las)
- ◆ *Welding Chemistry* (Kimia Pengelasan)
- ◆ Kondisi Permukaan Sambungan
- ◆ Geometri (bentuk) Sambungan

Welding Metallurgy, adalah perubahan yang terjadi dalam suatu logam yang mengalami berbagai macam efek mekanis dan panas dalam suatu proses pengelasan. *Welding Metallurgy* tergantung dari susunan atom dan bagaimana suatu susunan atom tersebut dipengaruhi oleh gaya dan panas. Jenis susunan atom logam menyebabkan perbedaan sifat mekaniknya.

Dengan demikian kita dapat melihat hubungan perlakuan metalurgi terhadap logam yaitu pemanasan awal, pemanasan akhir, pelepasan tegangan dll dengan kemampuan mekanis yang diakibatkannya.

Welding Chemistry merupakan hubungan secara kimiawi diantara logam induk, logam pengisi, dan bahan kimia lain yang ada pada proses pengelasan.

Kemampuan logam induk dan logam pengisi untuk berfusi tanpa menyebabkan suatu efek kimia yang buruk merupakan hal yang penting dalam hubungannya dengan *weld ability*.

Joint Surface Condition (kondisi permukaan sambungan) dan *Joint Geometry* (bentuk sambungan) merupakan faktor akhir yang mempengaruhi kemampuan untuk dilas (*weld ability*). Kondisi permukaan sambungan termasuk efek dari kekasaran dan kebersihan permukaan sambungan. Bentuk/geometri dari sambungan juga mempengaruhi kemampuan

dilas. Jumlah tegangan juga mempengaruhi kemampuan dilas.

Meskipun persoalan *weld ability* dapat diatasi oleh para insinyur tetapi *welding Inspector* harus tetap mengingat bahwa problem *weld ability* masih tetap ada. Cacat las yang berulang atau bukan karena kesalahan welder harus dicatat dan dilakukan perbaikan. Dengan mengetahui metalurgi pengelasan dan kimiawi pengelasan *Welding Inspector* lebih mampu mengantisipasi problem *weldability* dengan mengetahui tanda-tanda awal.

METALURGI LAS

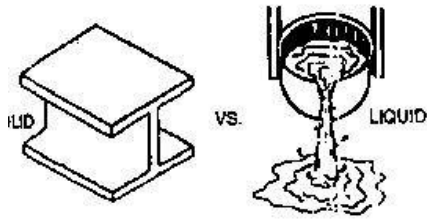
Metalurgi adalah ilmu tentang struktur logam dan hubungannya struktur tersebut dengan kemampuan logam tersebut. Topik-topik yang Berhubungan dengan pengelasan adalah :

1. Padatan dan cairan
2. Pelelehan dan pembekuan
3. Ekspansi panas
4. Perlakuan panas
5. Difusi
6. Campuran dan paduan

Padatan dan cairan.

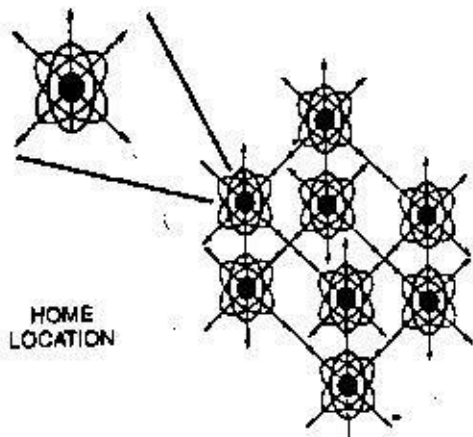
Perbedaan utama antara keadaan padat dan keadaan cair adalah dalam jumlah energi yang terkandung di dalamnya, logam cair lebih banyak energinya dibandingkan logam padat. Ditinjau dari strukturnya dalam keadaan padat susunan atom lebih stabil sedangkan dalam keadaan cair atom bergerak bebas. (Lihat Gambar 1).

Gambar 3. Kenaikan temperatur menyebabkan atom-atom menyebar.



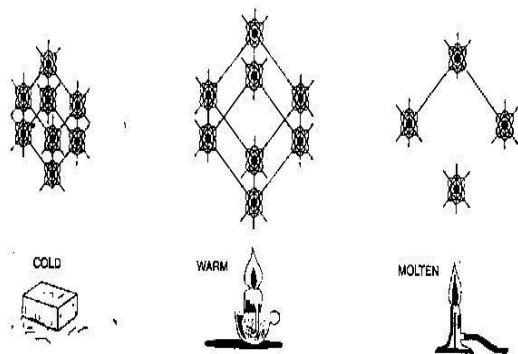
Gambar .1 Bentuk padat dan cair dari logam.

Dalam keadaan padat tiap atom menempati kedudukan tertentu, atom-atom tersusun baris demi baris, lapisan demi lapisan, tiga dimensi, simetris, struktur bentuk kristal atau berpola. Konfigurasi atom-atom tersebut dalam keadaan padat memberikan sifat fisika, mekanik, kimia, dan listrik. (Lihat Gambar.2).



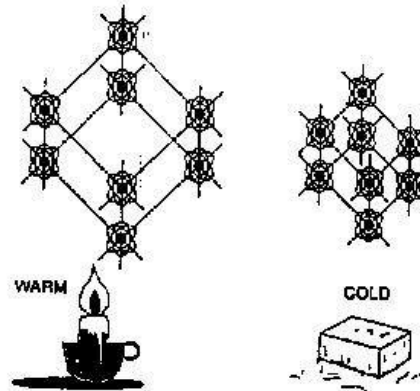
Gambar 2. Posisi Atom dalam keadaan padat

.Dalam posisinya atom-atom tersebut bergetar, getaran atom tersebut tergantung dari temperatur logam tersebut. Semakin panas gerakan atom makin besar dan bisa terlepas dari tempatnya jika logam dalam keadaan cair.(Lihat Gambar 3).



Mencair dan Membeku.

Ketika logam dipanaskan dan mencair atom bergerak sangat energik dengan pergerakan bebas, maka panas menyebar dengan cara konveksi atau konduksi dari tempat yang panas ke daerah dingin. Dalam pengelasan aksi pergerakan atom dipercepat dengan adanya tenaga magnetik, tekanan busur listrik, atau tekanan dari semburan gas, dan gerakan dari elektroda. Pada akhirnya atom-atom dari logam induk bercampur dan menyatu dengan atom-atom dari logam las. Pembekuan logam baru terjadi bila atom-atom kehilangan energi karena pendinginan dan kemudian menyusun diri menjadi struktur kristal.(Lihat Gambar 4.).



Gambar 4. Kehilangan panas menjadikan atom2 menyusun diri.

Pengelasan dilihat di mikroskop.

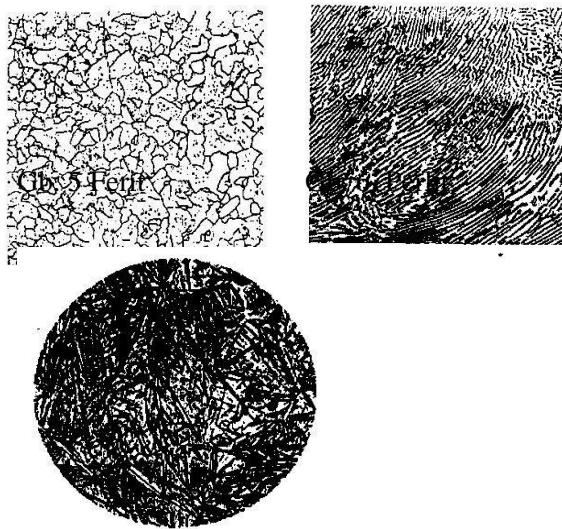
Pada logam padat atom-atom cenderung menyusun diri dalam garis, baris dan lapisan membentuk struktur kristal 3 dimensi. Struktur kristal logam yang umum adalah *BCC*(body centered cubic), *FCC*(face centered cubic), dan *HCP*(hexagonal close packed).

Beberapa logam misal besi mempunyai beberapa struktur yang berbeda tergantung dari temperturnya.

Baja mempunyai beberapa fasa yaitu austenit, ferit, perlit, bainit, martensit. Pada suhu 1333 F dengan kadar 0,3 % C berbentuk ferit dan pearlit. Diatas 1333 F fasa berupa campuran austenit dan ferit, dan di atas 1550 F berupa austenit.

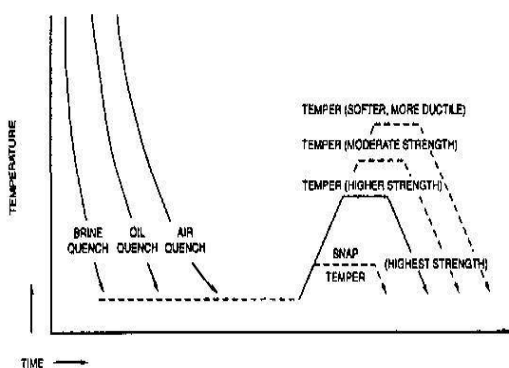
Dengan membuat variasi laju pendinginan dari austenit kita dapat mengatur fasa dari baja. Pendinginan cepat menyebabkan baja berbentuk martensit, pendinginan lambat baja

berbentuk ferit dan perlit, sedangkan pendinginan menengah berbentuk bainit.



Gambar 5.. Martensit

Baja yang berbentuk martensit membutuhkan perlakuan panas berupa “tempering”. Tempering dilakukan dengan memanaskan baja antara 100 – 1300 F untuk melunakkan, pada temperatur rendah tidak terlihat adanya perubahan fasa, tetapi kekuatan dan kekerasan menurun, sedangkan ketangguhan dan keuletan meningkat. Perubahan tersebut dapat dilihat pada gambar 6



Gambar 6. Pengaruh Tempering

Daerah logam induk yang terkena pengaruh panas pengelasan disebut daerah *Heat Affected Zone (HAZ)*. Pada daerah *HAZ* ini terjadi kecenderungan kekerasan yang tinggi dan keuletan yang rendah. Untuk mengurangi kecenderungan ini dilakukan perlakuan panas yang disebut dengan pemanasan awal (pre

heat). Dengan memanaskan logam induk sebelum dilas pada temperatur 150 – 700 F (65 – 370 C), kecepatan pendinginan (cooling rate) akan menurun. Dengan melambatnya pendinginan terbentuknya struktur martensit dapat dihindari, akan terbentuk struktur bainit atau ferit – perlit yang lebih lunak tetapi lebih ulet, sehingga mengurangi kecenderungan pecah pada las dan daerah *HAZ*.

Faktor lain yang mempengaruhi kecepatan pendinginan adalah masukan panas (heat input), semakin banyak masukan panas maka kecepatan pendinginan turun. Hal tersebut diatasi dengan menggunakan diameter elektroda yang kecil, arus yang lebih rendah dan kecepatan pengelasan (traveling speed) yang lebih tinggi, dengan kata lain masukan panas yang lebih kecil. Besar masukan panas dapat dihitung dengan rumus :

$$J = \frac{\text{Arus listrik} \times \text{tegangan} \times 60}{\text{Kecepatan pengelasan}}$$

Faktor Metalurgi lain

1. Fatigue (Kelelahan).

Semua las dirancang untuk tahan deformasi plastis yang diakibatkan beban (sampai yield point), kecuali akibat kelelahan. Bahan yang dilas dirancang untuk beban yang rendah untuk menghindari kelelahan.

2. Bentuk Permukaan.

Faktor lain yang penting untuk menghindari kelelahan adalah bentuk permukaan. Bentuk yang tajam menghasilkan ‘penaik stress’. Kepecahan dengan bentuk yang tajam dapat menaikkan stress sampai 10 kali lipat. Under cut dapat menaikkan stress 3 – 5 lipat, dan las yang keriting menaikkan stress 2 – 3 kali lipat.

3. Struktur dalam.

Ketika cairan logam membeku menjadi ingots besar mempunyai struktur tuangan. Ingots tersebut dibentuk menjadi pelat mengalami pengerolan yang menyebabkan butir logam menjadi pipih dan mempunyai sifat mekanik yang buruk (keras, getas). Kekuatan mekanik sangat baik pada arah pengerolan dan buruk pada arah melintang dari pengerolan.

Ekspansi Panas.

Karena pengaruh suhu logam akan mengalami pemuaian dan pengerutan, hal ini karena

getaran atom-atom yang berubah. Pada gambar 7.14, pada gb. a logam dalam keadaan lurus, gb. b dipanaskan pada satu sisi panas menyebar tidak merata, pada bagian atas lebih panas dari bagian bawah, gb. c pemanasan diteruskan menyebabkan terbentuk cairan dan bagian bawah mulai melengkung, gb. d pemanasan dihentikan, maka terjadi pendinginan, gb. e pendinginan berlanjut terjadi pembekuan, terjadi bentuk cekung, gb. f terjadi tegangan sisa yang kecil. Bila pelurusan dilakukan pada waktu masih terjadi pemanasan dan pendinginan maka tegangan sisa yang terjadi lebih besar lagi.

Untuk menghindari tegangan sisa maka sebelum pengelasan dilakukan pemanasan awal pada logam induk, untuk menghindari retak.

Diffusi.

Atom-atom pada logam dalam keadaan cair lebih mudah berpindah tempat, contohnya emas dan timah putih, baja dengan atom Hidrogen. Jika dalam pengelasan atom-atom hydrogen berdifusi kedalam logam menyebabkan logam tersebut berporous, yang menyebabkan menjadi dan bahkan keretakan.

Solid Solubility (pelarutan padat)

Dua buah logam yang berbeda misal emas dengan timah putih yang disatukan, masing-masing atom dari kedua logam tersebut saling berpindah/bertukar tempat ini yang disebut dengan pelarutan padat.

Hal ini dapat dimanfaatkan pada pengerasan logam misalnya baja (untuk gir), jika baja yang ditaruh dilingkungan karbon dipanaskan pada suhu 1600 – 1700 F maka atom-atom karbon berdifusi masuk ke dalam baja, menjadikan baja lebih keras dan tahan aus.

KIMIA PENGELASAN.

1. Pelindung.

Pada waktu pengelasan berlangsung logam las dalam keadaan cair harus dilindungi dari unsure-unsur yang tidak diinginkan, yaitu carbon, oxygen, hydrogen, dan nitrogen. Unsur-unsur tersebut terdapat pada udara, flame, pengotoran permukaan. Pada SMAW perlindungan berasal dari penguapan pelindung elektroda (flux), pada tungsten arc welding, pelindung dari gas melalui stang las. Pada Las SAW pelindung berasal dari bubuk fluks.

2. Komposisi logam las.

Komposisi logam las terdiri dari bermacam sumber, yaitu logam induk, logam las, fluks, pelindung. Ada pengelasan yang tidak menggunakan filler metal, seperti pengelasan titik, pengelasan pelat, berarti logam las berasal dari logam induk itu sendiri.

3. Kimia Pengelasan dari logam induk yang spesifik.

Komposisi logam induk dan logam las harus sama untuk mendapatkan hasil pengelasan yang paling baik. Biasanya elektroda dirancang untuk bisa mengelas semua logam induk. Ketika prosentase karbon meningkat kemampuan las turun. Jika kadar karbon antara 0,15 % - 0,30 % secara umum mudah dilas. Jika lebih dari 0,3 % menjadi sulit dilas, harus dilakukan pemanasan awal.

4. Perhitungan Carbon Equivalent.

Sifat mampu las dari baja tergantung dari komposisi kimia dari logam induk.

Rumus untuk mengetahui mampu las suatu baja, didasarkan pada besarnya Carbon Equivalent (Ceq). Besar carbon equivalent dihitung sebagai berikut:

$$Ceq = \% C + 1/6(\% Mn + \% Si) + 1/5(\% Cr + \% Mo) + 1/15(\% Ni + \% Cu).$$

Jika Ceq bernilai sampai 0,4 disarankan logam induk dipanaskan pada suhu 200 – 400 F. Jika nilai Ceq 0,4 - 0,6 pemanasan awal pada suhu 400 – 700 F.

Jika Ceq dia atas 0,4 low hydrogen dianjurkan, dan pemanasan akhir dianjurkan.

5. Kimia Pengelasan dari stainless steel.

Dalam lingkungan yang sangat korosif baja tahan karat mengalami korosi dengan kecepatan yang tinggi. Baja tahan karat mempunyai kadar Chromium paling sedikit 12 %. Ada empat jenis baja tahan karat yaitu feritik, martensitik, austenitic, dan precipitation hardening. Tiga jenis yang dimuka mempunyai fasa yang stabil di suhu kamar, sedangkan yang ke empat membutuhkan precipitation hardening, yaitu kebalikan dengan quenching dan tempering. Baja tahan karat feritik mudah dilas dengan hampir segala jenis electrode, sedangkan yang baja tahan karat

martenstitik membutuhkan pemanasan awal dan akhir.

6. Kimia Pengelasan dari aluminium paduan. Paduan aluminium mempunyai lapisan aluminium oksida di permukaannya yang menyebabkan aluminium sulit dilas. Untuk bisa dilas harus dihancurkan dulu lapisan aluminium oksidanya. Untuk mengelasnya harus digunakan las listrik dengan arus bolak-balik (AC).
7. Kimia Pengelasan dari Paduan Tembaga. Tidak seperti baja, tembaga murni dan paduannya tidak dapat dikeraskan dengan quenching dan tempering. Paduan aluminium dikerjakan dengan pengerjaan dingin.
8. Kimia Pengelasan Dari Logam yang Reaktif.
Ada tiga kelompok logam yang reaktif : titanium, zirconium dan tantalum. Ketiga macam logam ini sangatlah reaktif terhadap unsur lain, terutama jika mengalami panas di dalam pengelasan. Ketika mereka bereaksi dengan unsur lain misal oksigen, hydrogen, nitrogen, logam-logam tersebut menjadi terlalu keras dan rapuh.

Perlakuan khusus dan perlindungan las diperlukan untuk tantalum dan zirconium yaitu pengelasan harus dilakukan dalam ruangan yang di atur atmosfernya. Untuk titanium cukup perlindungan penuh dalam pengelasannya.

DAFTAR PUSTAKA

1. American Welding Society, *Certification Manual for Welding Inspectors*, , AWS, Florida, 2000
2. O'Brien, R.L., "*Welding Handbook, Volume 2 – Welding Processes*", American Welding Society, Miami, 8th Edition, 1991
3. Jenney, Cynthia L., and Annette O'Brien, "*Welding Handbook, Volume 1 – Welding Science and Technology*", American Welding Society, Miami, 9th Edition, 2001
4. Wiryosumarto H, Okumura T., *Teknologi Pengelasan Logam*, Pradnya Paramita, Jakarta, 1991