

Kerentanan Retak dan Kekerasan HAZ API 5L-x65 Pipe Steel Welded Joint karena Annealing Holding Time

Padang Yanuar, *Yurianto

Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Sudarto, SH. Kampus Tembalang, Semarang, Indonesia (50255)
*E-mail: yurianto@undip.ac.id

Abstrak

Regangan mikro daerah pengaruh panas disebabkan oleh proses pembekuan logam las, regangan ini menyebabkan retak mikro. Daerah pengaruh panas adalah penunjuk kerentanan strukturmikro terhadap retak mikro, dan kekerasannya tidak sama dibanding logam dasar dan logam las. Tujuan Penelitian ini adalah mengamati pengaruh waktu penahanan anil terhadap kerentanan retak dan kekerasan mikro daerah pengaruh panas pada lasan pipa baja API 5L X65. Metode penelitian yang digunakan adalah kaji experimental. Hasil penelitian ini adalah kerentanan retak logam dasar dan daerah pengaruh panas, dan angka kekerasan mikro berdasarkan waktu penahanan. Kesimpulan penelitian ini adalah bahwa retak meningkat dengan meningkatnya waktu penahanan, tetapi retak terkecil pada waktu penahanan 90 menit.

Kata kunci: logam dasar, daerah terpengaruh panas, anil, kekerasan, kerentanan retak

1. Pendahuluan

Pipa API 5L-X65 terbuat dari plat baja API 5L X65 yang dirol dingin dengan sambungan ulir (*helical seam line pipe*) las busur terendam (*Submerged Arc Welding - SAW*). Pipa ini termasuk *High Strength Low Alloy Steel - HSLA*, yaitu kelompok baja carbon rendah yang mengandung sedikit unsur-unsur paduan untuk memiliki sifat mekanis dan ketahanan terhadap korosi lebih baik dibanding baja konvensional lain serta memiliki mampu las yang baik. Kekerasan daerah pengaruh panas (*heat affected zone - HAZ*) maksimum dalam fabrikasi struktur lepas pantai dan *line pipes* dibatasi sampai 350 H_{VN}, hal ini untuk menghindari retak dingin. Struktur mikro HAZ dengan kekerasan > 248 H_{VN} rentan terhadap *stress corrosion cracking-SCC* saat pengelasan pada *pipelines* yang digunakan untuk *transport mildy sour gas*^[1]. Akibat pendinginan setelah proses pengelasan, terjadi perubahan jarak antar kristal (menyempit) dan menimbulkan regangan mikro yang bisa mengakibatkan keretakan mikro.

Penelitian ini bertujuan mengamati pengaruh penggunaan waktu penahanan pada perlakuan panas anil penuh (*full annealing*) terhadap regangan dan kekerasan mikro didalam strukturmikro HAZ. Manfaat penelitian adalah untuk mendapatkan kepastian waktu penahanan anil penuh agar terhindar dari keretakan mikro dalam HAZ.

Adapun lingkup penelitian ini adalah sambungan las pipa baja API 5L X65 hasil pengelasan SAW (Gambar 1) dengan perlakuan panas anil penuh, holding time: 30, 60 dan 90 menit.

2. Dasar teori

Kepekaan retak logam bisa dihitung berdasarkan unsur kimia yang terkandung, kerentanan retak meliputi^[2].

a. *Retak Karena Pemanasan awal (preheating)*. *Carbon equivalent (CE)* untuk pemanasan awal adalah,

$$CE = \%C + \frac{\%Mn}{6} + \frac{\%Ni}{15} + \frac{\%Mo}{4} + \frac{\%Cr}{4} + \frac{\%Cu}{13} \quad (1)$$

Jika CE < 0,45 % → opsi *preheating*. Jika CE > 0,45 % atau < 0,60 % → pemanasan dari 200 °F (93,33 °C) sd. 400 °F (204,44 °C). Jika CE > 0,60 %, pemanasan pada 400 °F (204,44 °C) sd. 700 °F (371,11 °C).

b. *Rentan Terhadap Retak dingin (cold cracking)*. CE untuk *Low-Carbon Steel* (0,07 % sd. 0,22 %) menurut Ito & Bessyo ditulis,

$$CE = C + \frac{Si}{30} + \frac{Mn + Cu + Cr}{20} + \frac{Ni}{60} + \frac{Mo}{15} + \frac{V}{10} + 5B \quad (2)$$

Jika CE > 0,35 sd. 0,40 HAZ rentan terhadap retak dingin.

c. *Rentan Terhadap Retak Panas Ulang (reheat cracking)*. Kecenderungan retak panas ulang, secara kualitatif diukur dengan persamaan Ito berikut,

$$C = 10V + 7Nb + 5Ti + Cr + Cu - 2 \quad (3)$$

Jika $C \geq 0$, maka baja rentan terhadap retak panas ulang.

- d. *Resistan Terhadap Retak Panas (hot cracking)*. Unsur P dan Nb dapat memacu retak panas dalam baja, kerentanan terhadap retak panas dihitung oleh *Bailey* dan *Jones* sebagai berikut,

$$UCS = 230\%C^* + 190\%S + 75\%P + 45\%Nb - 12,3\%Si - 5,4\%Mn - 1 \quad (4)$$

Jika $C < 0,08\%$, C^* diambil $0,08\%$ C. Jika satuan kerentanan retak UCS > 19 untuk *T-fillet welds* dan UCS > 25 untuk *butt welds*, keduanya terjadi retak.

- e. *Kerentanan Retak Relatif P_{cm}* . Kecenderungan retak relatif baja didasarkan pada *chemistry*; kandungan *hydrogen* dan konsentrasi tegangan. Parameter P_{cm} terbanyak bisa diterapkan pada *low-alloy steel* dengan $C < 0,18\%$ ^[3]. Untuk pipa baja *API 5L X65* harga P_{cm} maks. adalah $0,21\%$.

$$P_{CM} = C + \frac{Si}{30} + \frac{(Mn + Cu + Cr)}{20} + \frac{Ni}{60} + \frac{Mo}{15} + \frac{V}{10} + 5B \quad (5)$$

- f. *Perlakuan panas pasca pengelasan (PWHT – Post Weld Heat Treatment)*. Retak panas ulang dan menurunnya ketangguhan selama *PWHT* menurut *Gray*, ditulis,

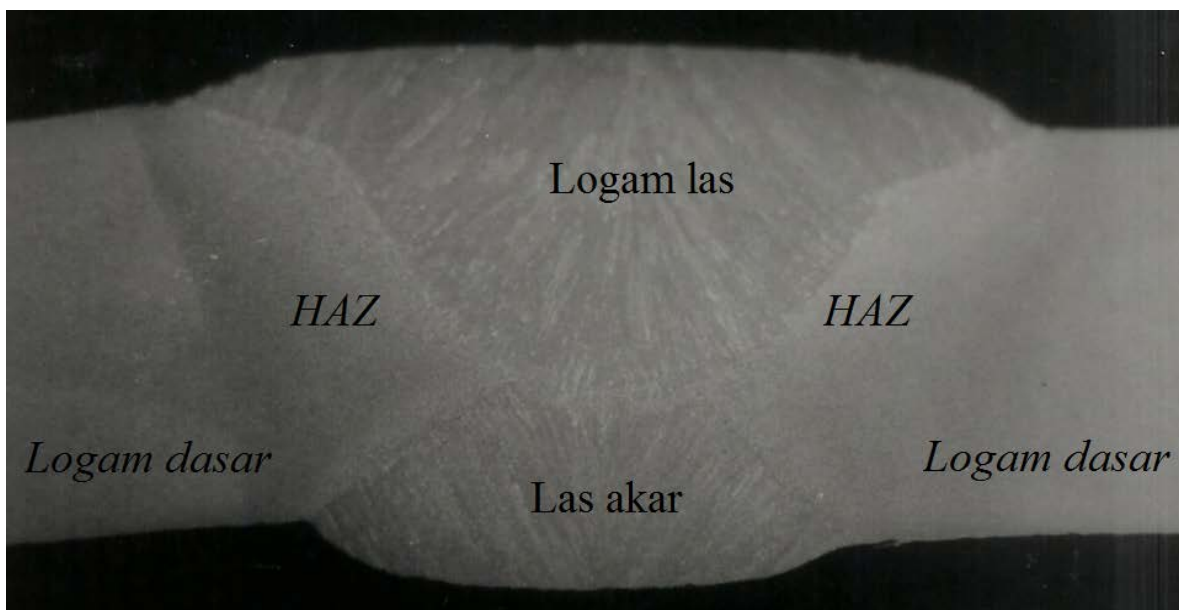
$$P = Cr + 3,3Mo + 8,1V - 2 \quad (6)$$

Jika $P > 0$, terjadi *reheat* atau *stress relief cracking* dalam *HAZ* selama *PWHT*. Umumnya baja Ni-Cr-Mo rentan terhadap hilangnya *fracture toughness (temper embrittlement)* pada saat dipanaskan dalam rentang temperatur antara 700°F sd. 1000°F (371°C and 538°C)^[4].

- g. *Ketahanan baja terhadap temper embrittlement*. Umumnya dinyatakan oleh faktor *J* yang diformulasikan oleh *Watanabe* yaitu,

$$J = (Mn + Si) \times (P + Sn) \times 10^4 \quad (7)$$

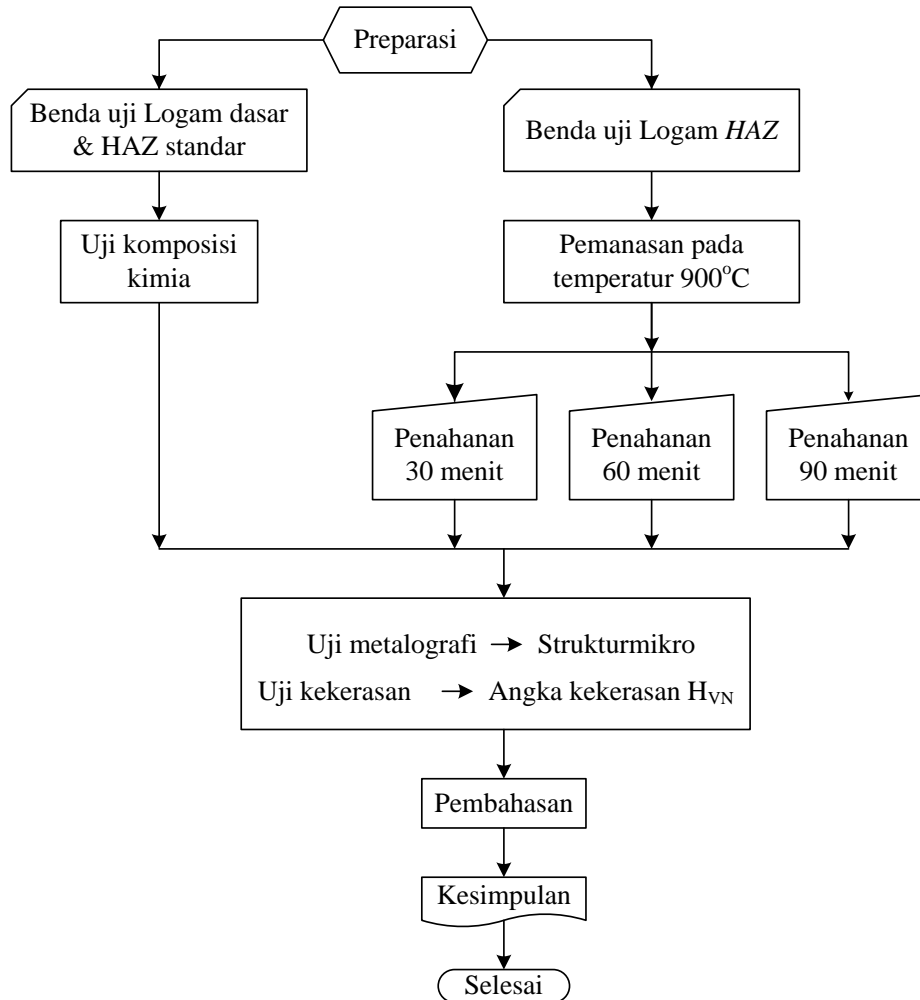
J dinyatakan dalam %. Jika $J < 150$, berpengaruh terhadap kegetasan temper^[5],



Gambar 1. Makrografi Sambungan Las Pipa API 5L X65

3. Metode penelitian

Seluruh kegiatan penelitian dilaksanakan di laboratorium dengan membandingkan antara benda uji standar dengan perbedaan waktu penahanan seperti ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Diagram alir jalannya penelitian

4. Hasil dan pembahasan

4.1. Unsur Kimia

Lihat Tabel 1 Al seringkali ditambahkan kedalam baja untuk menciptakan kondisi yang baik memelihara ukuran butiran HAZ tetap halus. Pengaruh ini diciptakan karena aluminum nitrida menjaga pertumbuhan butiran pada batas rendah selama terkena temperatur tinggi pengelasan^[6].

C adalah unsur penstabilan *austenite* dan dengan cara demikian meningkatkan rentang pembentukan *austenite* dalam baja^[7]. Pipa API 5L-X65 mempunyai unsur C yang rendah dan dibatasi maksimum 0,1 % (kandungan C pipa API 5L X65 dalam penelitian ini 0,07380 %), dilakukan untuk menurunkan dampak merugikan setelah proses pengelasan. Kandungan C lebih tinggi pada logam dasar akan meningkatkan kerentanan retak *hydrogen* dalam HAZ, untuk memperkecil kemungkinan terjadinya retak *hydrogen* diterapkan *PWHT*. Retak yang terjadi selama tahap akhir pembekuan karena sebagian struktur *dendrite* tidak mampu menahan konsentrasi regangan atau *external restrain*. Struktur ini terbentuk karena segregasi C pada pembekuan.

Unsur Al, Cr, Si, Ti, Mo, V, W dan Zr dikenal sebagai unsur penstabilkan fasa δ dalam baja. Unsur C, Ni, Mn dan Cu dikenal sebagai unsur yang menstabilkan fasa γ ^[8]. Artinya kedua fasa tidak berubah oleh busur listrik yang digunakan, sehingga sifat mekanis sesuai dengan yang diinginkan.

Cu bersifat lunak dan ulet, mempunyai sifat penghantar panas yang sangat baik dan pada keadaan murni mempunyai sifat listrik yang sangat baik. Unsur ini digunakan secara luas pada pembuatan pipa dan untuk mendapatkan ketahanan terhadap korosi^[9]. Pb mempunyai sifat mengkilat, padat, ulet, sangat lunak, mudah dibentuk, berwarna putih kebiruan dengan konduktivitas listrik kurang baik. Unsur ini mempunyai ketahanan korosi tinggi^[10]. Untuk penggunaan lepas pantai paduan zirconium (*zircaloy*) penting membentuk lapisan pasivasi yang meningkatkan ketahanan korosi, bagaimanapun ketahanan korosi menurun saat ada *impurity*^[11].

Tabel 1. Komposisi kimia pipa baja API 5L X65

No.	Nama Unsur	% Berat Logam Dasar	% Berat HAZ
1	Aluminium (Al)	0,04237	0,02897
2	Carbon (C)	0,078770	0,07436
3	Chromium (Cr)	0,02233	0,03036
4	Cuprum (Cu)	0,01409	0,04364
5	Ferro (Fe)	97,91805	97,71941
6	Manganese (Mn)	1,45279	1,47367
7	Molybdenum (Mo)	0,00369	0,10297
8	Nickel (Ni)	0,01902	0,02375
9	Niobium (Nb)	0,04491	0,03293
10	Phosphorus (P)	0,01330	0,01583
12	Silicon (Si)	0,31193	0,38696
13	Sulfur (S)	0,00423	0,00507
14	Stannum (Sn)	0,00572	0,00599
15	Titanium (Ti)	0,01814	0,01149
16	Vanadium (V)	0,04643	0,03682
17	Wolfram (W)	0,00218	0,00471
18	Zinc (Zn)	0,00393	0,00353
19	Zirconium (Zr)	0,00061	0,00085

Unsur Ni dan Mn, unsur ini cenderung membuat austenite lebih stabil, bekerja menurunkan temperatur eutektoid. Unsur Si; Cr dan Mo meningkatkan temperatur *eutektoid*, transformasi pearlite cenderung terjadi lebih dini pada temperatur dalam baja dengan elemen ini dari pada yang dilakukan dalam *plain-carbon steel*^[13].

Nb ditambahkan sebagai logam yang bersifat menahan pertumbuhan butiran dalam baja pada proses temperatur tinggi, sehingga menyebabkan ukuran butiran menjadi halus dan menghasilkan kekuatan dan ketangguhan yang lebih tinggi. Namun kemampuannya menghambat laju kristalisasi lebih tinggi. Nb cenderung memperbesar pembentukan bainite^[12].

Unsur P dan Nb dapat diidentifikasi sebagai pemacu retak panas dalam baja^[2]. P ditambahkan untuk meningkatkan kekerasan logam. Unsur Nb; V dan Ti adalah karbida kuat dan pembentuk nitrida. Karbida halus atau partikel nitrida dari logam HSLA cenderung menghalangi gerakan batas butiran, jadi mereduksi ukuran butiran dengan membuat pertumbuhan butiran lebih sulit. Reduksi ukuran butiran pada baja HSLA meningkatkan kekuatan dan ketangguhannya pada saat yang sama. Hal ini menarik karena secara normal ketangguhan baja menurun seperti meningkatnya kekuatan^[13].

Pada Tabel 1 terlihat adanya perubahan unsur kimia pada bagian HAZ, namun unsur C meningkat (ini karena adanya C berdifusi ke bagian HAZ, karena unsur C pada logam las umumnya lebih tinggi dibanding logam dasarnya).

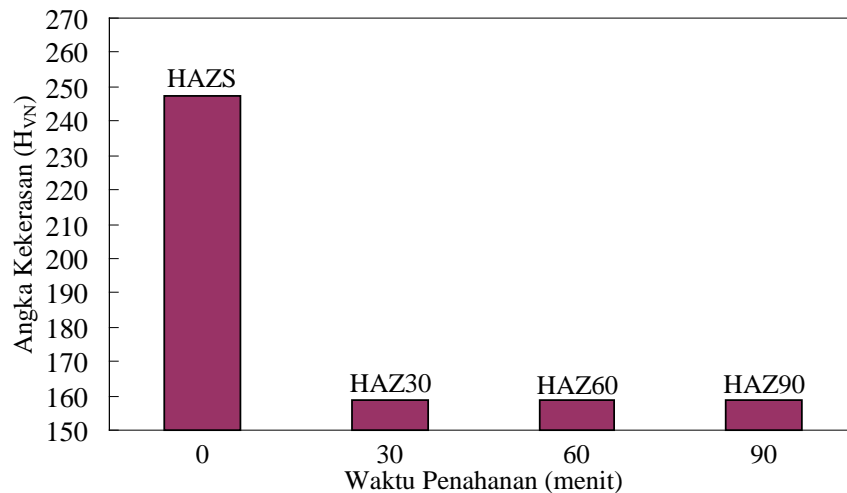
Adanya unsur yang terkandung terlihat: $CE_{\text{retak pemanasan awal}}$ dibawah 0,45 % (untuk itu perlu pemanasan awal pada sambungan las). Sedang harga $C_{\text{retak dingin}} < 0,35$ (artinya HAZ aman terhadap retak dingin). $C < 0$, artinya logam dasar dan HAZ aman terhadap retak panas ulang. $UCS < 0,08$ %, berarti logam dasar dan HAZ aman terhadap retak panas. $P_{CM} < 0,18$ %, berarti logam dasar dan HAZ aman terhadap retak relatif. $P < 0$, logam dasar dan HAZ aman terhadap retak selama $PWHT$. $J > 150$, yang berarti aman terhadap kegetasan temper (lihat Tabel 2).

Tabel 2. Harga kerentanan retak LD dan HAZ

No.	Kerentanan Retak	LD	HAZS
1	Retak Pemanasan Awal ($CE_{\text{retak pemanasan awal}}$)	0,32981 ^{TA}	0,358264 ^{TA}
2	Retak Dingin ($C_{\text{retak dingin}}$)	0,16885 ^A	0,17560 ^A
3	Retak Panas Ulang (C)	-1,09421 ^A	1,26984 ^A
4	Retak Panas (UCS)	-7,41029 ^A	-8,71643 ^A
5	Retak Relatif (P_{CM})	0,170332 ^A	0,17911 ^A
6	Perlakuan panas pasca pengelasan (P)	-1,58875 ^A	-1,33159 ^A
7	Ketahanan baja terhadap temper embrittlement (J)	335,64974 ^A	405,98947 ^A

Catatan: TA = Tidak Aman, maka dari itu perlu adanya pemanasan awal. A = Aman.

Panas yang dibangkitkan pada HAZ sangat besar sehingga mampu melelehkan logam dasar, namun ada daerah yang strukturnya berubah karena terpengaruh panas. Antara logam las dan logam dasar (cair – membeku) terdapat garis *solidus*, didekat ini terjadi retak dingin dan berbentuk *interdendritic* atau *intergranular cracking* sebagai hasil *hot shortness* atau *localized planarshrinkage* Retak dingin akibat pemisahan lintas butiran (*transgranular separation*) dihasilkan oleh tegangan melebihi kekuatan logam^[7].



Gambar 3. Waktu Penahanan vs Angka Kekerasan

4.2. Angka Kekerasan

Hasil uji kekerasan pada masing-masing benda uji (*HAZS; HAZ1; HAZ2 dan HAZ3*) ditunjukkan pada Gambar 3. Karena pipa *API 5L-X65* digunakan sebagai transportasi fluida bukan air, maka kerentanan terhadap retak perlu dipertimbangkan. Laju pendinginan tinggi bisa meningkatkan pembentukan struktur mikro HAZ dengan angka kekerasan tinggi, hal ini membuat lasan ini rentan terhadap retak dingin dan *sulfide stress cracking* dalam *sour service*. Proses pengelasan dapat menurunkan tegangan sisa dan pengasaran butiran HAZ dengan mereduksi panas masuk. Baja yang getas tetapi tidak retak bisa di anil untuk memperbaiki keuletan, unsur S, P, Sn, As, Sb dan Mn dikenal sebagai unsur menggetaskan (*embrittling elements*). Uji kekerasan mikro vickers dilakukan ditiga titik secara acak. Angka kekerasan LD 249,77 H_{VN}, sedangkan pada HAZS angka kekerasannya 247,37 H_{VN}.

Setelah proses anil penuh pada temperatur 900°C, angka kekerasan *HAZS* mengalami penurunan dan bervariasi terhadap waktu penahanan seperti pada Gambar 3. Selanjutnya angka kekerasan *HAZ90 = HAZ60*, sedang *HAZ90 dan HAZ60 < HAZ30*. Nampak bahwa kekerasan cenderung meningkat terhadap perubahan waktu penahanan. Angka kekerasan ini tergantung struktur mikro yang terbentuk. Saat butiran yang terbentuk lebih besar maka logam menjadi lebih lunak dibandingkan dengan butiran yang lebih kecil. Jika dilihat dari struktur mikro, seharusnya kekerasan dari benda uji *HAZ90* lebih kecil dari *HAZ60* karena butiran yang terbentuk lebih besar. Hal itu disebabkan karena saat pengujian identasi pada *HAZ90* mengenai daerah dominan *pearlite* yang kekerasannya lebih besar dari daerah dominan *ferrite*.

5. Kesimpulan

Berdasarkan pengamatan dan pembahasan dari hasil pengujian yang sudah dilaksanakan, dapat disimpulkan sebagai berikut: (1) Pipa secara umum aman dari keretakan, namun perlu adanya pemanasan awal dengan temperatur < 200 °F (93,33 °C) dan (2) *Holding* semakin tinggi, kekerasan semakin turun dan selanjutnya relapit tetap setelah 30 °C.

Ucapan terima kasih

PT. KHI Cilegon Banten (Krakatau Group) yang telah membantu benda uji berupa Pipa Baja API 5L X65 untuk penelitian ini.

Daftar pustaka

- Bang, I.W., Son, Y-P., Oh, K.H., Kim, Y-P. And Kim, W-S., 2002, Numerical Simulation of Sleeve Sleeve Repair Welding of In-Service Gas Pipelines, *Welding Journal* (12): hal. 273-S sd. 282-S.
- _____, 1983, "Metals Handbook", Volume 6 – Welding, Brazing and Soldering, American Society Society for Metals, Ohio, hal. 43 – 94.
- Sawhill, J., M., Jr. & Baker, J., C. And Howe, P., 1986, "Hydrogen-Assisted Cracking in High- Strength Pipeline Steels", *Welding Journal*, (7): 175-s to 183-s.
- Earvolino, L.P., Sprung, I and Hanschka, R.M., 1986, The Effect of Carbon Content on the Need to Postweld Heat Treat Low-Alloy Steel Castings", *Welding Journal*, Volume 65(5), Page 41 to. 46.
- Grosse-Wördemann and Dittrich, S., 1983, Prevention of Temper Embrittlement in 21/4 Cr-1 Mo Weld Metal by Metallurgical Actions", *Welding Journal*, (3): 123-s to 128-s.
- _____, 2002, "ASM Handbook", Volume 11 – Failure Analisis and Prevention, ASM Interna- tional, Ohio, hal. 158 – 431.
- Krauss, George, 1990, "STEELS : Heat Treatment and Processing Principles", ASM International International, Ohio, hal. 8. Ohshita, S., Yurioka, N. Mori, N. and Kimura, T, 1983, "Prevention of Solidification Cracking in Very Low Carbon Steel Welds", *Welding Journal* (5): 129-S sd. 136-S.

8. <http://en.wikipedia.org/wiki/Copper>, 22 Agustus 2007.
9. <http://en.wikipedia.org/wiki/Plumbum>, 22 Agustus 2007.
10. <http://en.wikipedia.org/wiki/Zircaloy>, 22 Agustus 2007.
11. Easterling, Kenneth, 1992, "Introduction to the Physical Metallurgy of Welding", Butterworth- Heinemann, Oxford, hal. 119.
12. Kou, Sindo, 2003, Welding Metallurgy, 2nd edition, John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, hal. 405.