

Pengaruh Preheat Terhadap Struktur Mikro dan Sifat Mekanis Sambungan Las GTAW Material Baja Paduan 12Cr1MoV yang Digunakan pada Superheater Boiler

Achmad Arifin¹, Heru Santoso B.R², dan M. Noer Ilman²

Mahasiswa S2 Teknik Mesin Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta¹
Staff Pengajar Jurusan Teknik Mesin dan Industri Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta²
Jl. Grafika No.2, Yogyakarta 55281
Email : mas_achmad@yahoo.co.id

Abstrak

Instalasi *superheater boiler* pada PLTU memerlukan material dengan sifat mekanis yang stabil pada temperatur dan tekanan tinggi, yaitu dioperasikan pada tekanan sekitar 17,90 MPa dengan temperatur 490°C. Baja paduan Cr-Mo sesuai standar ASME dapat digunakan untuk keperluan tersebut. Baja paduan Cr-Mo memiliki *hardenability* yang tinggi tetapi rentan terhadap *hydrogen cracking*, sehingga harus dihindari pendinginan yang terlalu cepat. Upaya dilakukan dengan memberikan *preheating* sebelum pengelasan.

Penelitian bertujuan mempelajari pengaruh preheat pada perubahan struktur mikro dan sifat mekanis yang berupa kekerasan, ketangguhan dan kekuatan tarik. Material superheater berupa pipa baja paduan 12Cr1MoV dengan diameter 2,5 inch dan ketebalan 9,1 mm. Pengelasan menggunakan las GTAW, filler ER80SG, arus 110 Ampere dan tegangan 15 Volt. Temperatur preheating digunakan : 150°C, 200°C, 250°C dan tanpa preheat. Pengujian mekanis yang dilakukan : tarik, kekerasan mikro, dampak, dan analisa struktur mikro.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa preheat meningkatkan keuletan, ketangguhan dan kekuatan hasil pengelasan. Preheat 250°C menghasilkan sifat mekanis yang lebih baik, memiliki kekuatan tarik tertinggi sebesar 531 MPa, harga Dampak 73,16 Joule. Kekuatan tarik terendah pada preheat 150°C sebesar 482 MPa, harga dampak 53,49 Joule. Rata-rata kekerasan tertinggi di logam las sebesar 293 VHN pada preheat 200°C, sedangkan di daerah HAZ sebesar 266 VHN pada preheat 150°C.

Kata kunci : Las GTAW, preheat, sifat mekanis, superheater, baja paduan

Abstract

Boiler superheated installation of power plant requires the materials which have stable mechanical properties at high pressure, typically of 17.90 MPa and temperature of about 490°C. Cr-Mo alloy steel, according to ASME standards, can be used for that purpose. Cr-Mo alloy steel has high hardenability but it is susceptible to hydrogen cracking, therefore, a high cooling rate should be avoided. The effort to solve these problems is to provide preheating before welding.

The objectives of this research are to study the effect of preheat on the changes in microstructure and mechanical properties such as hardness, toughness and tensile strength. The superheater material is in the form of 12Cr1MoV alloy steel pipes with a diameter of 2.5 inch and a thickness of 9.1 mm. Welding is using GTAW welding, filler ER80SG, 110A current and 15V voltage. Preheating temperature used is 150°C, 200°C, 250°C and without preheat. Mechanical testing performed is tensile, micro hardness, impact, and microstructure analysis.

The testing results showed that the preheat increases ductility, toughness and strength of the welding. Preheat 250°C produces better mechanical properties and has the highest tensile strength of 531 MPa and has the impact value of 73.16 Joules. The lowest tensile strength at preheat 150°C is 482 MPa, the impact value of 53.49 Joule. The average of the highest hardness in the weld metal is 293 VHN at the preheat 200°C, whereas in the HAZ area is 266 VHN at preheat 150°C.

Keyword : GTAW, preheat, mechanical properties, superheated, alloy steel

1. Pendahuluan

Instalasi *superheater boiler* pada pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) merupakan konstruksi yang memerlukan material yang memiliki sifat mekanis yang stabil pada kondisi temperatur dan tekanan tinggi, yaitu dioperasikan pada tekanan sekitar 17,90 MPa dengan temperatur 490°C.

Baja paduan (*alloy steel*) Cr-Mo sesuai dengan standar American Society of Mechanical Engineering (ASME) dapat digunakan untuk keperluan tersebut. Baja paduan Cr-Mo memiliki *hardenability* yang tinggi dan rentan terhadap *hydrogen cracking*, sehingga harus dihindari pendinginan yang terlalu cepat pada proses

pengelasannya. Upaya yang dapat dilakukan adalah memberikan pemanasan mula (*preheating*) pada saat sebelum pengelasan. Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari pengaruh temperatur preheat pada perubahan struktur mikro dan mengetahui perubahan sifat mekanis khususnya kekerasan dan ketangguhan pada hasil pengelasan (*weld metal*, HAZ dan *base metal*) serta kekuatan tarik.

2. Landasan Teori

2.1. Siklus Thermal Pengelasan

Siklus thermal merupakan proses pemanasan dan pendinginan pada daerah pengelasan. Selama proses pengelasan berlangsung, logam las dan daerah pengaruh panas akan mengalami serangkaian siklus thermal yang berupa pemanasan sampai mencapai temperatur maksimum dan diikuti dengan pendinginan. Bagian terpenting pada siklus thermal adalah pendinginan karena sangat mempengaruhi transformasi fasa yang berarti berpengaruh pada struktur mikro di logam las dan daerah HAZ.

Faktor lain yang mempengaruhi siklus termal adalah waktu pendinginan (*cooling time*), yaitu waktu pendinginan adalah antara temperatur 800 °C – 500 °C. Struktur mikro dan sifat mekanik dari HAZ sebagian besar tergantung pada lamanya pendinginan tersebut. Lamanya waktu pendinginan dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 1 berikut (Messler, 1999) :

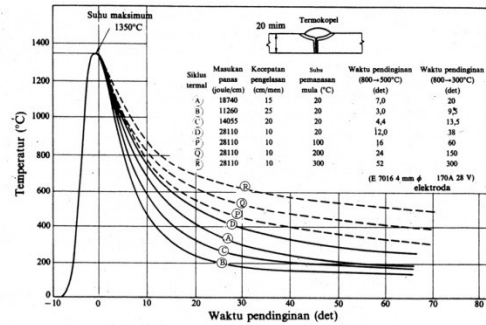
$$\Delta t_{8/5} = \frac{(d)^2}{4\pi k \rho c h^2} \left[\left(\frac{1}{500 - T_0} \right)^2 - \left(\frac{1}{800 - T_0} \right)^2 \right] \dots (1)$$

Besarnya laju pendinginan (*cooling rate*) dapat dicari dengan menggunakan persamaan 2 berikut ini (Messler, 1999):

$$\left(\frac{dT}{dt} \right) = \frac{800 - 500}{\Delta t_{8/5}} \dots (2)$$

Salah satu usaha yang dapat dilakukan untuk mengatur laju pendinginan dengan mengaplikasikan persamaan 1 dan 2 adalah memberikan variasi harga T_0 yang berupa perlakuan preheat. Adanya perlakuan preheat dengan temperatur yang berbeda akan mempengaruhi laju pendinginan dari temperatur 800°C sampai 500°C.

Gambar 1 memperlihatkan bahwa dengan parameter pengelasan (masukan panas dan kecepatan pengelasan) yang sama, besarnya temperatur preheat akan mempengaruhi lamanya waktu pendinginan. Garis putus-putus P, Q dan R menunjukkan fenomena tersebut.



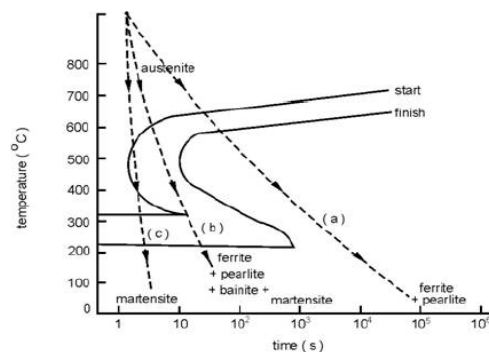
Gambar 1. Siklus Thermal Pengelasan (Wiryosumarto, 2008)

2.2. Perlakuan Preheat

Preheat adalah panas yang diberikan kepada logam yang akan dilas. Pada *multi-pass weld* definisi preheat temperatur adalah temperatur sesaat sebelum pengelasan pada pass (celah) selanjutnya dimulai. Pada *multi-pass weld* disebut juga sebagai interpass temperature. (AWS, 1996) Ada empat alasan utama untuk memanfaatkan perlakuan preheat (Funderburk, 1997) :

- memperlambat laju pendinginan pada logam las dan logam dasar, sehingga menghasilkan struktur logam lebih ulet yang memiliki ketahanan terhadap retak yang lebih besar,
- memungkinkan hidrogen dapat terdifusi keluar sehingga mengurangi potensi retak,
- mengurangi tegangan sisa dalam logam las dan pada daerah HAZ,
- mengurangi resiko patah getas dan meningkatkan ketangguhan logam las

Laju pendinginan setelah pengelasan dipengaruhi oleh besarnya temperatur preheat, dimana temperatur preheat yang lebih tinggi menyebabkan pendinginan menjadi lebih lama dan kekerasan mikrostruktur menjadi lebih rendah. Hal tersebut ditunjukkan pada gambar 2.



Gambar 2. Pengaruh laju pendinginan terhadap pembentukan struktur mikro (Callister, 2001)

Preheat dapat dilakukan pada keseluruhan benda kerja atau hanya pada daerah di sekitar sambungan saja. Panas harus diberikan pada bidang yang cukup lebar, sehingga temperatur daerah pengelasan tidak akan turun di bawah syarat preheat minimum selama pengelasan berlangsung. AWS D1.1 merekomendasikan jarak pemanas yang digunakan setidaknya sama

dengan ketebalan material yang dilas, namun tidak boleh kurang dari 3 inci (75 mm) dari salah satu sisi sambungan las pada preheating lokal.

2.3. Struktur Mikro Las

Pada proses pengelasan, transformasi γ (austenit) menjadi α (ferit) merupakan tahap yang paling krusial karena struktur mikro logam las yang berarti juga sifat-sifat mekanisnya sangat ditentukan pada tahap ini. Diantara faktor-faktor yang mempengaruhi transformasi γ (austenit) menjadi α (ferit) adalah masukan panas (*heat input*), komposisi kimia logam las, kecepatan pendinginan dari temperatur $800^{\circ}\text{C} - 500^{\circ}\text{C}$,

Logam las merupakan daerah yang mengalami perubahan fasa menjadi cair, sedangkan daerah terpengaruh panas atau HAZ merupakan daerah logam induk yang mengalami perubahan struktur mikro karena panas tetapi tidak sampai mencair. Daerah HAZ terdiri dari butir kasar, butir halus dan daerah transformasi sebagian.

Menurut Abson dan Pargeter (1986), struktur mikro pada logam las biasanya terdiri dari dua atau lebih fasa berikut ini :

- Ferit batas butir (*grain boundary ferrite*), terbentuk pertama kali pada transformasi $\gamma - \alpha$, biasanya terbentuk sepanjang batas austenit pada temperatur $1000^{\circ}\text{C} - 650^{\circ}\text{C}$.
- Ferrite Widmanstatten*, jika temperturnya lebih rendah maka akan terbentuk ferit Widmanstatten. Struktur mikro ini terbentuk pada temperatur $750^{\circ}\text{C} - 650^{\circ}\text{C}$ disepanjang batas butir austenit. Ferit widmanstatten mempunyai ukuran besar dengan orientasi arah yang hampir sama sehingga memudahkan terjadinya perambatan retak.
- Ferrite Acicular*, berbentuk intragranular dengan ukuran yang kecil dan mempunyai orientasi arah yang acak. Biasanya acicular ferit terbentuk sekitar temperatur 650°C dan mempunyai ketangguhan paling tinggi.
- Bainit*, merupakan ferit yang tumbuh dari batas butir austenit dan terbentuk pada temperatur 500°C . Bainit mempunyai kekerasan yang lebih tinggi dibanding ferit, tetapi lebih rendah dari pada martensit.
- Martensit*, akan terbentuk bila proses pengelasan dengan pendinginan yang sangat cepat, struktur ini mempunyai sifat sangat keras dan getas sehingga ketangguhannya rendah.

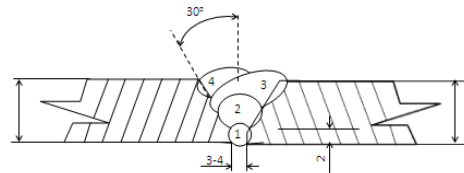
Penambahan unsur paduan pada logam las menyebabkan struktur mikro cenderung berbentuk bainit dengan sedikit ferit batas butir, kedua macam struktur mikro tersebut juga dapat terbentuk jika ukuran butir austenitnya besar. Nilai yang semakin besar (waktu pendinginan semakin lama) akan meningkatkan ukuran ferit batas butir (*grain boundary ferrite*), selain itu waktu pendinginan yang lama akan

menyebabkan struktur mikro yang paling banyak terbentuk adalah *ferite Widmanstatten*. Kandungan oksigen yang besar juga akan menyebabkan terbentuknya *ferrite Widmanstatten* dan ferit batas butir dengan ukuran yang besar.

3. Metode Penelitian

3.1. Proses Pengelasan

Tahap awal penelitian ini adalah melakukan pengelasan dengan metode GTAW pada pipa baja paduan 12Cr1MoV dengan diameter 2,5 inch dan tebal 9,1 mm, alur las dibuat *single V groove* dengan sudut 60° . Pengelasan dilakukan pada beberapa layer sampai memenuhi ketebalan pipa, seperti yang terlihat pada detail sambungan las gambar 3.



Gambar 3. Detail Sambungan Las

Besar voltase dan arus dibuat masing-masing dibuat 15 volt dan 110 A sedangkan filler ER80SG, polaritas DC positif. Temperatur preheat yang digunakan : 150°C , 200°C , 250°C dan tanpa preheat

3.2. Analisa Struktur Mikro

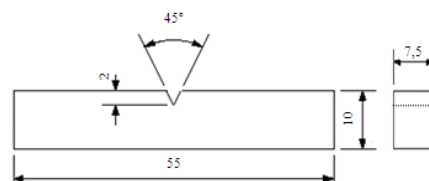
Pengujian dilaksanakan dengan menggunakan mikroskop optik logam Olympus dan cairan etsa yang digunakan berupa larutan nital (95% propanol + 5% HNO_3).

3.3. Uji Kekerasan Mikro

Pengujian dilakukan dengan metode *vickers microhardness* untuk mengetahui distribusi kekerasan hasil sambungan las dan daerah pengaruh panas (HAZ).

3.4. Uji Impak

Pengujian dilakukan dengan menggunakan mesin charpy, dan mengacu pada standar ASTM E23-02a dengan takikan pada daerah logam las seperti pada Gambar 4. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui ketangguhan logam las terhadap beban mendadak (kejut).



Gambar 4. Specimen Uji Impak (ASTM E23-02a)

3.5. Uji Tarik

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui kekuatan tarik statis masing-masing hasil pengelasan dengan variasi temperatur preheat. Pengujian tarik dilakukan pada arah transversal dari sambungan las, spesimen uji tarik berbentuk pelat yang diperoleh dari pipa yang dibelah dengan ukuran merujuk pada standar JIS Z 2201 spesimen no 12.

4. Hasil dan Pembahasan

4.1. Komposisi Kimia

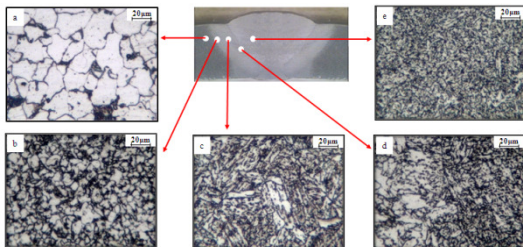
Tabel 1: Komposisi kimia logam induk, filler dan logam las

Material	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	V
Pipa 12Cr1MoV	0,12	0,26	0,56	0,99	0,01	0,32	0,18
Filler ER80SG	0,08	0,65	1,25	1,25	--	0,5	0,25
Logam Las	0,07	0,79	1,33	1,19	0,06	0,56	--

Hasil pengujian komposisi kimia pada daerah logam las menunjukkan bahwa terjadi peningkatan presentase pada unsur Si, Mn, Cr dan Mo dibandingkan dengan komposisi kimia logam induk.

4.2. Struktur Mikro Las

Gambar 5 menunjukkan struktur makro dan mikro sambungan las dengan perlakuan tanpa preheat.

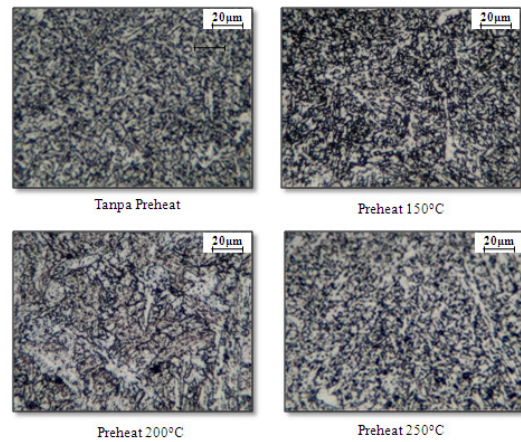


Gambar 5. Struktur Mikro Pengelasan Tanpa Preheat, a) Logam Induk, b) HAZ Halus, c) HAZ Kasar, d) Batas Las, e) Logam Las

Perbedaan struktur mikro seperti yang ditunjukkan pada gambar 5 di atas akibat adanya pengaruh siklus thermal selama proses pengelasan, khususnya pada proses transformasi γ (austenit) menjadi α (ferrit) pada interval temperatur 800°C-500°C. Panas yang tinggi saat pengelasan menyebabkan terjadinya daerah HAZ yang terdiri dari butir kasar akibat pertumbuhan butir (*grain growth*) dan butir halus akibat rekristalisasi butir austenit sehingga terjadi perubahan struktur mikro dan sifat mekanik.

Gambar 6 menunjukkan struktur mikro pada daerah logam las pada semua parameter preheat. Temperatur preheat yang semakin tinggi menyebabkan bentuk butiran yang lebih besar

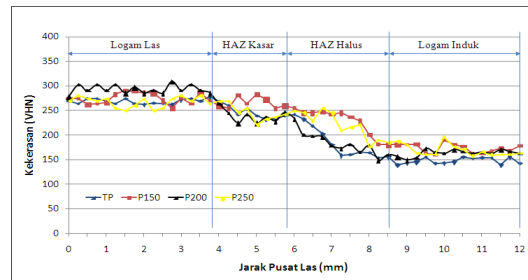
dan memanjang dengan orientasi acak. Sehingga akan memiliki sifat mekanis yang lebih baik yaitu memiliki nilai kekerasan yang lebih rendah kekuatan dan ketangguhan yang lebih tinggi



Gambar 6. Struktur Mikro pada Daerah Logam Las

4.3. Hasil Uji Kekerasan

Distribusi kekerasan pada sambungan las meliputi logam las, HAZ kasar, HAZ halus dan logam induk seperti terlihat pada Gambar 7 di bawah ini.



Gambar 7 Distribusi Kekerasan Micro Vickers

Nilai kekerasan pada daerah logam las menunjukkan lebih tinggi daripada daerah HAZ maupun logam induk. Hal ini disebabkan oleh adanya peningkatan kadar unsur paduan khususnya Cr dan Mn. Selain itu, adanya perbedaan kekerasan ini disebabkan karena perbedaan struktur mikro yang terbentuk selama proses transformasi $\gamma \rightarrow \alpha$ pada interval suhu 800-500°C.

Tabel 2: Harga Kekerasan Rata-rata

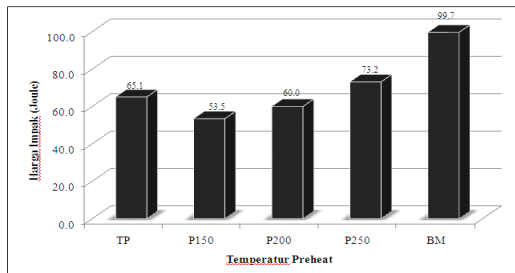
Sambungan Las	Kekerasan Rata-rata dalam VHN (kg/mm ²)			
	TP	P150	P200	P250
Logam Las	268.68	274.47	293.00	267.13
HAZ Kasar	245.80	265.69	238.43	245.95
HAZ Halus	184.65	227.53	182.78	219.70
Logam Induk	146.94	173.20	163.31	168.27

Perbedaan temperatur preheat menyebabkan perbedaan nilai kekerasan pada masing-masing parameter, dikarenakan laju pendinginan pada interval temperatur 800-500°C juga mengalami perbedaan. Rata-rata kekerasan tertinggi pada

daerah logam las terjadi pada preheat 200°C sebesar 293 kg/mm², sedangkan rata-rata kekerasan tertinggi pada daerah HAZ terjadi pada preheat 150°C sebesar 266 kg/mm².

4.4. Hasil Uji Impak

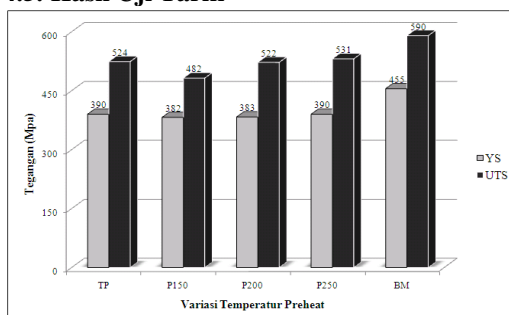
Gambar 8 memperlihatkan hasil uji ketangguhan impak pada sambungan las semua parameter preheat dan logam induk.



Gambar 8. Harga Impak pada Logam Las

Hasil pengujian impak menunjukkan bahwa meningkatnya temperatur preheat diikuti dengan meningkatkan harga impak logam las yang artinya semakin tinggi temperatur preheat akan meningkatkan keuletan dan ketangguhan sambungan las. Harga impak tertinggi dimiliki oleh preheat 250°C sebesar 73,2 Joule, namun demikian masih lebih rendah dibanding harga impak logam induk, hal ini menunjukkan bahwa logam las lebih getas bila dibanding logam induk. Logam yang lebih getas memiliki nilai kekerasan yang lebih tinggi, sehingga sesuai dengan hasil uji kekerasan yang menunjukkan pada logam las memiliki nilai kekerasan lebih tinggi.

4.5. Hasil Uji Tarik



Gambar 9. Kekuatan tarik dan tegangan luluh

Hasil pengujian tarik seperti terlihat pada Gambar 9. Daerah putus terjadi pada daerah HAZ pada semua parameter preheat, hal ini menunjukkan bahwa daerah terlemah / kritis pada sambungan las adalah daerah HAZ. Kekuatan tertinggi dimiliki oleh hasil pengelasan dengan preheat 250°C yaitu tegangan tarik sebesar 531 MPa dan tegangan luluh sebesar 390 MPa. Kekuatan tersebut lebih rendah daripada hasil pengujian pada logam induk yaitu hanya sebesar 90%, sehingga pada aplikasi

perhitungan kekuatan struktur hal ini harus menjadi perhatian demi keamanan pada saat struktur dipergunakan.

5. Kesimpulan

Dari penelitian ini dapat disimpulkan :

- Perbedaan temperatur preheat menyebabkan ukuran butir struktur mikro yang berbeda sehingga akan menghasilkan sifat berbeda.
- Preheat 250°C memiliki sifat mekanis yang lebih baik dari pada parameter preheat yang lain, dengan kekuatan tarik sebesar 531 MPa, harga impak 73,2 Joule dan rata-rata kekerasan pada logam las 267,13 kg/mm².
- Hasil pengujian menunjukkan sifat mekanis logam induk masih lebih baik daripada hasil pengelasan pada semua parameter preheat.

6. Saran

Data hasil pengujian mekanis menunjukkan bahwa semakin tinggi temperatur preheat akan memperbaiki sifat mekanis yang ditunjukkan dengan ketangguhan dan kekuatan yang semakin tinggi, sehingga perlu dilakukan penelitian lanjutan dengan variasi temperatur preheat yang lebih tinggi dari 250°C untuk mengetahui batas temperatur preheat yang dapat menghasilkan sifat mekanis yang optimal.

7. Daftar Pustaka

- Abson, D.J. dan Pargeter, R.J., 1986, Factors Influencing Strength, Microstructure and Toughness of as Deposited Manual Metal Arc Welds Suitable for C-Mn Steel Fabrications, International Metal Reviews, vol.31, No.4, 141-193
- ASME Committee, 2010, ASME Boiler and Pressure Vessel Code I : Ruler for Construction of Power Boiler, 2010 Edition, New York, USA.
- ASTM Committee, 2003, E23-02a Standard Test Methods for Notched Bar Impact Testing of Metallic Materials, ASTM Standards Volume 03, New York, USA
- AWS, 1996, ANSI/AWS D1.1-96, Structural Welding Code: Steel, The American Welding Society.
- Callister, Jr., & William, D., 2001, Fundamentals of Materials Science and Engineering, 5 ed., John Wiley & Sons, Inc., New York.
- Funderburk, R. S., 1997, "Fundamentals of Preheat, Welding Innovation Vol. XIV No.2
- JIS, 1973, Metallic Materials, Japanese International Standard.
- Messler, Robert W., 1999. Principles of welding, Processes, Physics, Chemistry and Metallurgy. A Wiley-Interscience Publication. New York.
- Wiriyosumarto, H. dan Okumura, T., 2008, Teknologi Pengelasan Logam, PT Pradnya Paramita, Jakarta.