

## PENGARUH PENGELASAN FCAW TANPA DAN DENGAN PENAMBAHAN PANAS TERHADAP PERUBAHAN SIFAT MEKANIK DAN STRUKTUR MIKRO SAMBUNGAN LAS

Nur Subeki<sup>1</sup>, Jamasri<sup>2</sup>, M.N. Ilman<sup>3</sup> dan P.T. Iswanto<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Sekolah Pascasarjana Program Doktor Jurusan Teknik Mesin dan Industri UGM  
<sup>2,3,4</sup>Jurusan Teknik Mesin dan Industri Fakultas Teknik Universitas UGM Yogyakarta

Masuk: 8 Desember 2014, revisi masuk: 13 Januari 2015, diterima: 30 Januari 2015

### ABSTRACT

*The Welding processes are delivery used joining steel, especially used in civil construction, piping and ship manufacturing. Many of the benefits that can be obtained from welded joint is the joining can be cheap, rapid manufacturing, varied shape and lighter construction. One of the welding techniques that is widely used for joining the steel construction is Flux Core Arc Welding (FCAW). The problem that found in welding joints is the tensile strength in welding area is low and uneven hardness in the weld joint. The aim of this research was to determine the mechanical properties of FCAW Welding process and find out micro structures formed by the addition of heat around the welding. In this research, FCAW welding has been divided into two groups; the ones group is manufacturing without addition of heating, and the second group is manufacturing by heating 200 °C. Every group of manufactures would be test by chemical compositions, macro photos, micro photos, tensile strength and hardness number. The results of this research shows that the addition of heat at 200 °C could be increase the yield strength and ultimate strength. The heating also could be very small impact on the change in the hardness of weld area, but it could be reduce the hardness in HAZ area significantly. Micro structure formed then the weld area has been dominated by acicular ferrite micro structure, grain boundary ferrite dominate in coarse HAZ, the pearlite and ferrite with grain aggrandizement take place in smooth HAZ and base metals.*

**Keywords:** FCAW Weld, Photo Macro, Micro Structures, Tensile Strength and Hardness

### INTISARI

Penyambungan logam dengan sistem pengelasan semakin banyak digunakan, terutama di dipakai pada konstruksi bangunan sipil, perpipaan maupun konstruksi kapal. Banyak keuntungan yang dapat diperoleh dari sambungan las yaitu penyambungan bisa murah, cepat, bentuknya variatif dan konstruksi lebih ringan. Salah satu teknik pengelasan yang banyak dipakai untuk penyambungan pada konstruksi baja adalah Pengelasan *Flux Cored Arc Welding* (FCAW). Permasalahan yang sering muncul pada penyambungan adalah kekuatan tarik pada yang rendah dan kekerasan tidak merata di daerah pengelasan. Tujuan penelitian ini untuk mengetahui sifat mekanis dari proses pengelasan FCAW dan mengetahui struktur mikro akibat penambahan panas di sekitar pengelasan. Penelitian pengelasan FCAW dibagi menjadi 2 kelompok. Kelompok 1 dilakukan tanpa penambahan panas dan kelompok 2 diberi perlakuan panas disekitar pengelasan dengan suhu 200°C. Masing –masing kelompok diuji komposisi kimia, foto makro, foto mikro, pengujian kekuatan tarik dan pengujian kekerasan. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa panas sebesar 200°C dapat meningkatkan tegangan luluh dan kuat tarik. Pemanasan memberikan dampak yang sangat kecil pada perubahan kekerasan di daerah las, tetapi dapat menurunkan kekerasan pada daerah HAZ yang cukup signifikan. Mikrostruktur yang terbentuk pada daerah las sudah didominasi mikro struktur acicular ferit, di daerah HAZ kasar didominasi mikro struktur batas butir dan di daerah HAZ halus dan logam induk terjadi pembesaran butiran ferit dan perlit.

**Kata Kunci :** Las FCAW, Foto Makro, Mikro Struktur, Kekuatan Tarik dan Kekerasan

## PENDAHULUAN

Beberapa perusahaan pembangkit tenaga, kapal laut, kapal terbang, bangunan lepas pantai, dan konstruksi teknik yang lainnya harus mampu meningkatkan potensi yang dimiliki dengan pengembangan yang lebih baik. Salah satu cara pengembangan teknik pengelasan harus dapat menyelesaikan permasalahan yang sering muncul pada hasil pengelasan. Teknik pengelasan harus mampu menurunkan biaya produksi yang merupakan salah satu komponen yang sangat penting agar perusahaan tetap bisa bersaing di dunia perindustrian. Sehingga penurunan biaya modal dengan menunda penggantian komponen-komponen yang mahal, menurunkan biaya pengoperasian dan perawatan (O&M), menggunakan optimalisasi operasi, prosedur perawatan dan pemeriksaan yang benar, akan menjadi tujuan strategis untuk mempertahankan perusahaan konstruksi. Hal ini menjadi tantangan yang penting bagi para perekayasa teknik untuk mencari jalan penyelesaiannya (Viswanathan and Stringer, 2009).

Teknik penyambungan logam dengan sistem pengelasan semakin banyak digunakan, baik dipakai pada konstruksi bangunan, perpipaan maupun konstruksi kapal. Hal ini disebabkan oleh banyaknya keuntungan yang dapat diperoleh dari sambungan las. Pengelasan merupakan proses pengerjaan industri yang kompleks yang mana sering menggunakan beberapa percobaan sebelum dapat dikerjakan dengan baik. Pekerjaan pengelasan dihasilkan oleh pekerja dengan keahlian yang baik, tetapi akhir-akhir ini mesin otomatis dan robot dipakai pada sistem penyambungan dengan pengelasan. Cara ini dipilih untuk memperoleh produk yang diharapkan dapat menghasilkan komponen yang presisi dari bagian-bagian yang akan dirangkai menjadi sesuatu konstruksi. Oleh sebab itu, pada industri penyambungan, pengecekan dimensi sangat penting. Pada saat bagian-bagian dari konstruksi itu disambung dengan pengelasan, maka yang harus dipahami tidak hanya terjadinya tegangan sisa pada pengelasan tetapi juga distorsi (Sorensen, 1999). Menurut Cary (1989) luasnya

penggunaan proses penyambungan dengan pengelasan disebabkan oleh biaya murah, pelaksanaan relatif lebih cepat, lebih ringan, dan bentuk konstruksi lebih variatif. Salah satu teknik pengelasan yang banyak dipakai untuk penyambungan pada konstruksi baja adalah las busur logam atau Flux cored Arc Welding (FCAW). Pada pengelasan dengan las FCAW, kawat pengisi yang juga berfungsi sebagai elektroda diumpungkan secara terus menerus. Busur listrik terjadi antara kawat pengisi dan logam induk, gas pelindung yang digunakan adalah gas Argon, helium atau campuran dari keduanya cair ditutup dengan fluks yang diatur melalui suatu penampang, fluks dan logam pengisi yang berupa kawat pejal diumpungkan secara terus menerus (Wiriyosumarto dan Okumura, 2000) sehingga pengelasan dapat dilakukan secara semi otomatis, oleh karena itu memberi kenyamanan dalam pengoperasiannya dan memiliki keandalan yang tinggi (Song, dkk, 2003).

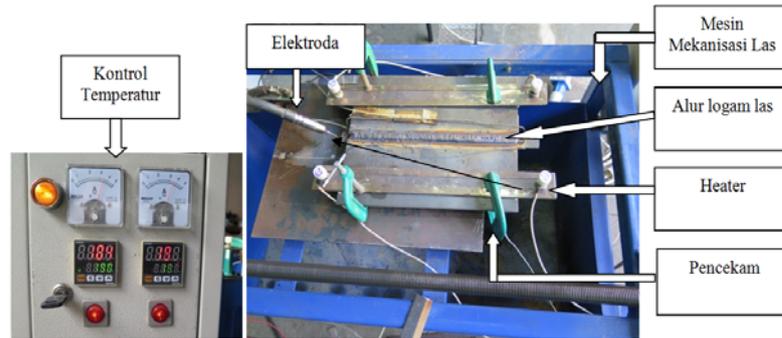
Masalah-masalah yang muncul pada pengelasan konstruksi diantaranya adalah penggunaan sumber energi yang tidak merata, terjadi retak pada logam pengelasan, kekuatan yang masih dibawah kekuatan logam induk, penggunaan variabel pengelasan yang kurang tepat dan pengetahuan metalurgi yang masih kurang. Masukan panas sangat mempengaruhi sifat mekanis dan struktur mikro hasil pengelasan (Subeki 2009). Oleh sebab itu perlu dikaji dengan cara eksperimen proses pengelasan FCAW terhadap pengaruh penambahan panas di sekitar pengelasan.

## METODE

Bahan yang dipakai penelitian ini adalah Plat Baja A36 dengan ketebalan 5mm. Bahan memiliki spesifikasi tegangan luluh maksimum 248Mpa dan Tegangan tarik maksimum 400 MPa dengan perpanjangan 23 %. Jenis elektrode yang dipakai yaitu K-71T (AWS (A5.20/ASME SFA-5.20 E71T-1C) dengan diameter 1,2 mm dan berat 15 kgs/ roll. Peralatan yang digunakan mesin las FCAW, termokopel, mekanisasi pengelasan, mesin poles, amplas ukuran 200

s/d 1200, mikroskop optik, mesin uji tarik, mesin uji mikro Vickers. Mekanisme pengelasan seperti diperlihatkan pada Gambar 1. Pengelasan FCAW dilakukan dengan menggunakan kecepatan gerak maju pengelasan sebesar 7 mm/s. Pada pengelasan pertama tidak diperlakukan

dengan penambahan panas. Pada pengelasan berikutnya dilakukan dengan pemanasan suhu 200 °C. Suhu maksimum diukur dengan termokopel yang ditempatkan pada sambungan las dan permukaan bawah pelat yang dipanasi.



Gambar 1. Mekanisme pengelasan secara mekanis las FCAW

Pengamatan makro dan struktur mikro dilakukan untuk mengamati salah satu sifat fisis. Pengamatan makro dan struktur mikro dapat mengetahui struktur makro dan mikro hasil pengelasan dengan pengembangan metode pengelasan FCAW. Alat yang dipergunakan untuk pengujian ini adalah mikroskop optik, dengan mikroskop ini dapat dilihat ukuran dan bentuk butir serta distribusi dari berbagai macam fasa logam yang terjadi pada pengelasan. Pembesaran yang dipergunakan adalah 50 kali. Pengamatan dilakukan pada daerah las, haz besar, haz kecil, *reheated zone* dan logam induk.

Pengujian tarik dilakukan dengan memberikan suatu gaya tarik pada suatu spesimen yang standar pengujian. Dari pengujian tarik akan didapatkan data dari beberapa sifat mekanis yang dimiliki oleh suatu material, yaitu kekuatan, kekakuan, keuletan. Pada penelitian ini pengujian tarik dilakukan pada arah transversal dari logam las, spesimen uji tarik dengan standar ASTM E8-01. Pengujian kekerasan yang digunakan pada penelitian ini

adalah metode Vickers. Metode ini dipakainya karena bekas penekanannya kecil, pengukurannya teliti, dan range ukurnya besar. Angka kekerasan Vickers adalah suatu pengujian sifat mekanis yang menyatakan ketahanan suatu bahan terhadap deformasi plastis, bila pada bahan tersebut dikenai gaya dari luar. Alat yang digunakan hardness tester Karl Frank GmbH Weinheim-Birkenu type 3805 Werk-Nr 12946.

#### PEMBAHASAN

Komposisi kimia, struktur mikro dan sifat mekanis merupakan satu kesatuan yang dapat saling mempengaruhi. Komposisi kimia dapat menentukan kekuatan sambungan dari sebuah konstruksi. Untuk menentukan hal demikian, maka perlu dikaji setiap hasil dari pengujian yang telah dilakukan.

Tabel 1 dan 2 memperlihatkan bahwa komposisi kimia logam induk yang dipilih dan logam pengelasan yang dihasilkan berbeda, terutama pada unsur C dan Mn.

Tabel 1. Komposisi kimia logam induk

Unsur	C	Si	S	P	Mn	Ni	Cr	Mo	Cu
% W	0.1246	0.2485	0.0105	0.0149	0.4711	0.0063	0.0195	0.0018	0.0123
Unsur	W	Ti	Sn	Al	Pb	Ca	Zn	Fe	

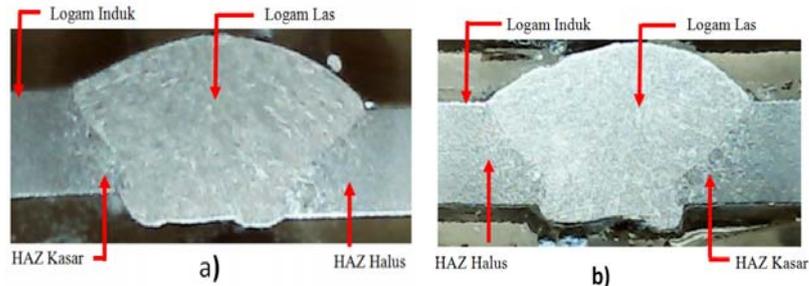
% W	0.0036	0.0031	0.0018	0.0583	0.0000	0.0002	0.0016	99.02
-----	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	-------

Tabel 2. Komposisi kimia logam las

Unsur	C	Si	S	P	Mn	Ni	Cr	Mo	Cu
% W	0.0796	0.7357	0.0092	0.0053	1.5834	0.0057	0.0275	0.0016	0.0238
Unsur	W	Ti	Sn	Al	Pb	Ca	Zn	Fe	
% W	0.0054	0.1390	0.0026	0.0316	0.0036	0.0014	0.0091	97.34	

Perubahan berat unsur karbon (C) dan mangan (Mn) pada logam pengelasan dapat meningkatkan kekuatan tarik sambungan pengelasan (Surian, dkk., 2010). Pada logam pengelasan terbukti komposisi kimia C lebih kecil dan kandungan Mn lebih tinggi. Kandungan

Mn yang lebih besar pada logam las memiliki sifat-sifat diantaranya: dapat meningkatkan kekuatan dan kekerasan; memenuhi laju pendinginan kritis; dapat mengikat sulfur sehingga memperkecil terbentuknya sulfida besi (FeS) yang menimbulkan rapuh panas.



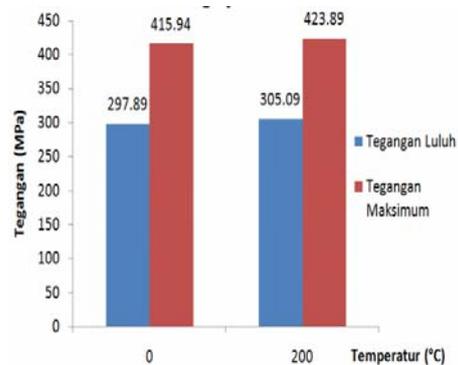
Gambar 2. Foto makro hasil las FCAW a) Tanpa penambahan panas b) dengan penambahan panas 200 °C.

Gambar 2 menunjukkan bahwa batas antara logam pengelasan, daerah HAZ kasar, HAZ halus dan logam induk terlihat sangat jelas. Bentuk batas ini menunjukkan bahwa sambungan pengelasan memiliki kualitas yang baik. Transformasi panas sangat menentukan bentuk struktur mikro dan sifat mekanis (Feng, 2005).

Kekuatan tarik yang terjadi baik pada kondisi luluh maupun kekuatan maksimum mengalami peningkatan dari kondisi tanpa penambahan temperatur dan dengan penambahan temperatur disekitar pengelasan sebesar 2,4% dan 1,9%. Peningkatan kekuatan ini ditunjukkan pada Gambar 3. Kekuatan tarik pada sambungan pengelasan setelah terjadi penambahan panas kekuatannya lebih tinggi, hal disebabkan oleh kemungkinan pemanasan memaksa adanya tegangan sisa tarik. Posisi patahan aki-

bat pengujian tarik terjadi antara daerah logam induk dan HAZ halus.

Gambar 4 memperlihatkan bahwa terjadi perbedaan sedikit dari hasil patahan pada pengujian tarik. Pada gambar sebelum ada penambahan panas



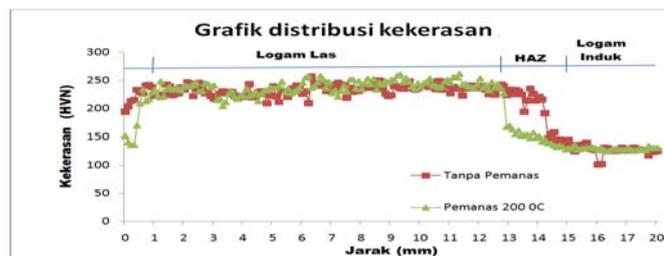
Gambar 3. Kekuatan tarik terhadap perubahan suhu pemanasan.

terjadi cekungan yang relative dalam, sementara pada pengelasan dengan penambahan panas 200 °C terlihat terjadi cekungan yang datar. Hal ini membuktikan bahwa pengelasan dengan penambahan panas 200 °C memiliki kekuatan yang sedikit lebih tinggi.

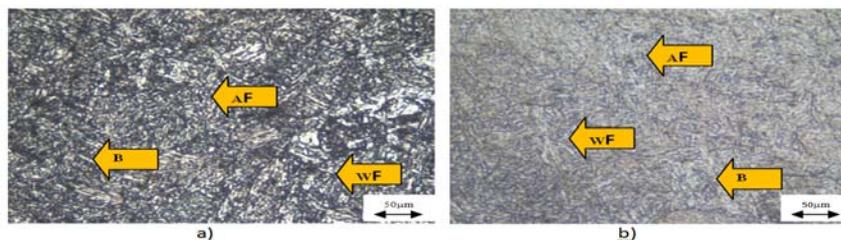
Gambar 5 memperlihatkan bahwa kekerasan tertinggi berada pada daerah logam las diikuti dengan daerah HAZ kasar, HAZ halus, daerah terpengaruh panas dan logam induk. Kekerasan di daerah logam las memiliki nilai tertinggi disebabkan oleh peleburan pada suhu tinggi dilanjutkan dengan pendinginan,



Gambar 4. Foto makro hasil pengujian tarik pengelasan fcaw, a). tanpa penambahan panas; b). dengan penambahan panas 200 °C.



Gambar 5. Grafik kekerasan terhadap jarak pengujian.



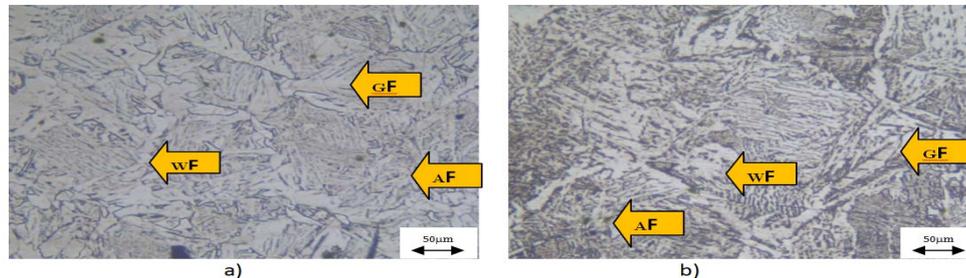
Gambar 6. Foto mikro struktur daerah logam las dengan pembesaran 50 x a). tanpa penambahan panas b). penambahan panas. AF : Acicular Ferrit; WF : Widmanstatten Ferrit; B : Bainit. GF : Ferrit Batas Butir.

agak cepat pada suhu kamar. Sementara itu bahwa pada daerah pengelasan memiliki kekerasan yang tinggi disebabkan kandungan Mn lebih tinggi (Subeki, 2011). Kandungan Mn di daerah las terbukti nilainya lebih tinggi, hal ini seperti ditunjukkan pada pengujian komposisi kimia Tabel 2.

Gambar 6 menunjukkan bahwa struktur mikro keduanya didominasi oleh ferrit widmanstatten, acicular ferrit dan bainit. Bentuk struktur mikro tersebut mengakibatkan kekuatan tinggi dan nilai kekerasannya juga lebih tinggi dari daerah yang lain. Struktur mikro acicular

ferit dapat meningkatkan kekuatan sambungan (Harrison and Farrar, 1981). Penambahan panas pada proses penge-

lasan dengan penambahan panas 200 °C terbukti dapat meningkatkan struktur mikro acicular ferit.

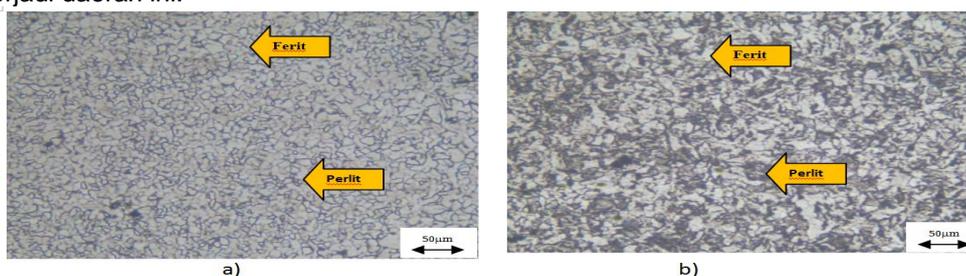


Gambar 7. Foto mikro struktur daerah HAZ kasar dengan pembesaran 50 x  
a) tanpa penambahan panas b) penambahan panas

Gambar 7 menunjukkan bentuk struktur mikro di daerah HAZ kasar didominasi oleh ferit widmanstaten sebagian acicular ferit dan ferit batas butir. Bentuk struktur mikro pada daerah ini mengakibatkan terjadi penurunan kekerasan, yang disebabkan oleh tumbuhnya struktur mikro batas butir.

Bentuk struktur mikro daerah HAZ halus yang ditunjukkan pada Gambar 8 didominasi oleh ferit dan perlit. Pada daerah ini kekerasan sudah terjadi penurunan yang diakibatkan oleh kandungan Mn yang rendah dan struktur mikro yang terbentuk adalah ferit dan perlit. Patah akibat pengujian tarik juga terjadi daerah ini.

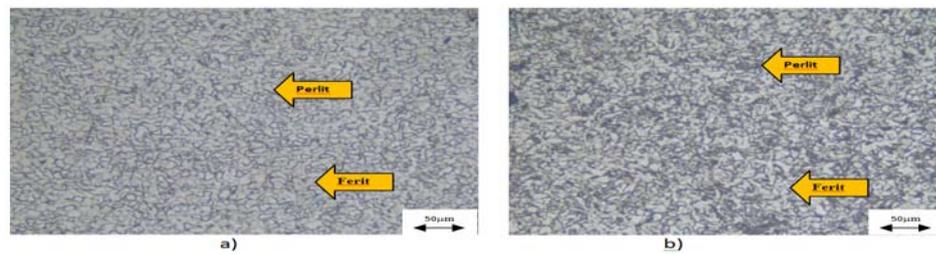
Bentuk struktur mikro daerah logam induk seperti terlihat pada Gambar 9, didominasi oleh ferit dan perlit dengan butiran yang lebih besar. Ferit dan perlit yang bentuk butirannya besar nilai kekerasannya rendah (Subeki, 2011). Nilai kekerasan yang rendah disebabkan oleh kandungan Mn pada logam induk kecil juga bentuk struktur mikronya ferit dan perlit. Butiran yang lebih besar pada daerah ini menghasilkan kekerasan paling rendah dibandingkan dengan daerah pada sambungan yang lain, terutama yang diberi pemanasan 200 °C.



Gambar 8. Foto mikro struktur daerah HAZ halus dengan pembesaran 50 x  
a) tanpa penambahan panas b) Penambahan panas

Komposisi kimia, penambahan panas pada sambungan pengelasan dapat mempengaruhi sifat mekanis dan struktur mikro hasil sambungan. Kekuatan sambungan di daerah pengelasan memiliki nilai yang sangat tinggi disebabkan kandungan unsur mangan tinggi dan bentuk struktur mikro didominasi oleh ferit

widmanstaten, acicular ferit dan bainit. Nilai kekerasan semakin turun mengikuti perubahan struktur mikro didominasi oleh ferit dan perlit. Penambahan temperatur 200 °C mampu meningkatkan sifat mekanik dan bentuk struktur mikro sambungan pengelasan.



Gambar 9. foto mikro struktur logam induk dengan pembesaran 50 x  
a) tanpa penambahan panas b). penambahan panas.

### KESIMPULAN

Sambungan dengan pengelasan FCAW tanpa penambahan panas dan menggunakan penambahan panas di sekitar alur pengelasan memiliki hasil diantaranya adalah komposisi kimia logam las terjadi penurunan unsur karbon dan peningkatan unsur mangan. Penggunaan penambahan temperature dapat meningkatkan kekuatan luluh 2,4 %, kekuatan maksimum 1,9 % dan sedikit kekerasan.

Kekerasan tertinggi di daerah las diikuti daerah HAZ kasar, HAZ halus dan terendah di logam induk. Bentuk struktur mikro didaerah Pengelasan didominasi ferit widman-staten, acicular ferit dan bainit. Penambahan temperature 200 °C dapat mempengaruhi terbentuknya struktur mikro sambungan pengelasan.

### DAFTAR PUSTAKA

- ASM Handbook Comittee, 1986, *Metal Handbook*, Volume 9 Edisi 9, *Welding and Brazing*, American Society for Metals International, New York.
- Cary, H.B., 1994, *Modern Welding Technology*, Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey.
- Feng Zhili, 2005, *Processes and Mechanisms of Welding Residual Stress and Distortion*, Padstow, Cornwall, England.
- Harrison, P.L., dan Farrar, R.A., 1981, *Influence of Oxygen-rich Inclusions on the  $\gamma$  to  $\alpha$  Phase Transformation in High Strength Low Alloy (HSLA) Steel Weld Metals*, Journal of Material Science, 16, pp 2218-2226.
- Okumura, T., dan Wiryosumarto, H., 2000, "Teknologi Pengelasan Logam", PT Pradnya Paramita, Jakarta.
- Song, J., Peters. J., Noor, A., and Michaleris, P., 2003., "Sensitivity Analysis of The Thermomechanical Response of Welding Joints" Journal of Solids and Structures 40, Hal 4167-4180.
- Sorensen. M.B., 1999, "Simulation of Welding Distortion in Ship Section", Department of Naval Architecture dan Offshore Engineering, Technical University of Denmark.
- Subeki, N., 2009, Optimalisasi Penggunaan Heat Input pada Pengelasan Pipa Spiral untuk Meningkatkan kualitas Sambungan", Jurnal Teknik Industri Vol. 10 Nomor 2. Agustus 2009 Hal 141-147, Malang.
- Subeki, N., 2011, Optimalisasi Kandungan Mn pada Filler untuk Mendapatkan Ketangguhan dan Kekerasan", Jurnal Teknik Industri Vol. 12 Nomor 1. Februari 2011 Hal 43-52, Malang.
- Surian, E.S., Ramini De Risone, N.M., Svoboda, H.G., Rep, R., and De Vedia, L. A., 2010 " SMAW, FCAW, and SAW High-Strength Ferritic Deposits : The Challenge Is Tensile Properties" Welding Journal Vol. 89 Hal: 54-S- 64-S
- Viswanathan. R dan Stringer. J., 2009, "Failure Mechanisms of High Temperature Components in Power Plants", Electric Power Research Institute, Palo Alto, CA 95070.