

Perubahan Struktur Mikro, Tegangan Sisa dan Distorsi Pada Aluminium Akibat Heat Input Proses Pengelasan GMAW

Gathot Dwi Winarto*, Subowo dan Sutikno

*Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya (PPNS)

Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, 60111

Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Fakultas Teknologi Industri, Jurusan Teknik Mesin

Kampus ITS Keputih Sukolilo, Surabaya, 60111

E-mail: gathot.pbps.its@hotmail.com

Abstrak

Komposit merupakan salah satu material yang banyak digunakan sebagai bahan pada pembuatan body speed-boot karena bobot yang ringan dan juga harga yang relatif murah. Disisi lain komposit mempunyai kelemahan yaitu tidak bisa didaur ulang sehingga dapat menimbulkan masalah pada lingkungan. Selain komposit, material yang juga banyak digunakan untuk pembuatan body speed-boot adalah aluminium karena mempunyai density yang rendah dan tahan terhadap korosi air laut. Tetapi proses penyambungan dengan pengelasan pada aluminium yang tergolong material non-ferrous mempunyai level kesulitan yang lebih tinggi dibandingkan pengelasan pada baja yang tergolong material ferrous. Proses penyambungan dengan pengelasan mempunyai kendala tersendiri karena heat input pada proses pengelasan dapat merubah karakteristik dari material yang dilas. Penelitian ini mengevaluasi pengaruh heat input pada proses pengelasan GMAW pada aluminium seri 5083 dengan dimensi 300mm x 150mm x 12mm terhadap perubahan struktur mikro, tegangan sisa dan distorsi yang terjadi pada material; dimana heat input dipengaruhi oleh kecepatan pengelasan, arus listrik dan tegangan listrik yang digunakan pada proses pengelasan. Perubahan struktur mikro akibat pengaruh heat input pada proses pengelasan dievaluasi dengan uji metalografi dengan menggunakan perangkat keras mikroskop electron dan perangkat lunak grain size. Adapun distorsi yang terjadi pada aluminium akibat pengaruh heat input pada proses pengelasan diukur dengan alat ukur geometri yaitu mistar, mistar ingsut dan dial gauge. Sedangkan Tegangan sisa yang terjadi pada aluminium akibat pengaruh heat input pada proses pengelasan dievaluasi secara analitik dan simulasi dengan metode finite elemen. Spesimen yang digunakan untuk eksperimen dibentuk dari aluminium seri 5083 dengan ketebalan 12mm dengan single V groove. Dari hasil penelitian dapatkan simpulkan bahwa: heat input mempunyai pengaruh yang signifikan terhadap perubahan struktur mikro; dimana semakin besar heat input semakin besar grain size yang terbentuk pada Base Metal, HAZ dan Weld Metal. Demikian juga dengan tegangan sisa dan distorsi mengalami kenaikan seiring dengan besarnya heat input yang terjadi pada proses pengelasan.

Keywords: Heat input, Struktur mikro, Tegangan sisa, Distorsi

Pendahuluan

Proses pengelasan banyak digunakan untuk fabrikasi dalam aplikasi engineering antara lain dalam industri otomotif dan industri kapal. Salah satu metode pengelasan yang sering dipakai adalah metode GMAW (*Gas Metal Arc Welding*). Pengelasan ini juga sering disebut dengan MIG (*Metal Inert Gas*) karena menggunakan gas inert. Pada proses pengelasan ini, elektroda yang digunakan tidak dicoating dan disuplai secara terus-menerus dari filler yang berbentuk

gulungan. Pada dasarnya proses pengelasan memiliki bermacam-macam tipe sambungan, yaitu: butt joint, backing joint, T joint, Cross joint, overlap joint, corner joint, dan edge joint. Sambungan-sambungan tersebut masing-masing memiliki karakteristik tersendiri tergantung pada kondisi material yang dikerjakan. Ditinjau dari posisinya, proses pengelasan mempunyai beberapa jenis, yaitu: flat, horizontal, vertical, dan overhead (ASME section IX, 2001).

Selama proses pengelasan, daerah disekitar logam las akan mengalami pemuaian, sedangkan daerah

dibawahnya akan menahan proses pemuaian tersebut. Bagian yang mengalami pemuaian akan mengalami tegangan tekan (*compression stress*) sedangkan yang melawan pemuaian akan mengalami tegangan tarik (*tensile stress*) dan hal sebaliknya terjadi pada proses pendinginan. Tegangan yang terjadi pada pelat atau material yang dilas ini akan terus exist pada material hingga material mencapai temperatur kamar. Tegangan yang demikian ini disebut tegangan sisa - *residual stress* (Anam, 2009). Selain tegangan sisa, akibat dari pengaruh panas yang lain adalah adanya perubahan struktur mikro dari logam tersebut.

Pengaruh heat input terhadap material sangat signifikan terhadap kualitas hasil lasan, maka dalam penelitian ini akan dilakukan analisa tegangan sisa, distorsi dan metallographic pada aluminium seri 5083 dengan proses pengelasan GMAW. Penelitian ini ditujukan untuk mengetahui pengaruh heat input terhadap tegangan sisa, distorsi dan mikrostruktur pada struktur hasil lasan. Tegangan sisa yang terjadi pada material dianalisa dengan menggunakan bantuan perangkat lunak dengan metode elemen hingga. Distorsi yang terjadi pada material akibat pengaruh heat input pada proses pengelasan diukur dengan alat ukur geometri. Sedangkan metallographic dievaluasi dengan menggunakan mikroskop electron dan software grain size.

TEORI DASAR

(a). Aluminium

Aluminium dan paduan aluminium termasuk logam yang mempunyai karakteristik dengan bobotnya yang ringan, dengan berat jenis sebesar 2.7 g/cm³, atau sepertiga berat jenis baja dan memiliki ketahanan korosi yang baik dan konduktivitas panas yang memadai.

Aluminium seri 5xxx, adalah aluminium dengan unsur paduan utama magnesium. Aluminium jenis ini termasuk paduan aluminium non heat treatable yang sering digunakan pada pembuatan kapal (Okumura, 1996). Data-data komposisi kimia, sifat mekanik dan sifat fisik untuk aluminium 5083 (ASME section II, 2001) ditunjukkan pada Tabel 1, Tabel 2, dan Tabel 3 berikut:

Tabel 1. Komposisi Kimia Paduan Aluminium 5083

Chemical Composition	
Element	% Present
Si	0.4
Fe	0.4
Cu	0.1
Mn	0.4 – 1.0
Mg	4.0 – 4.9
Zn	0.25
Ti	0.15
Cr	0.05 – 0.25
Al	Balance

Tabel 2. Sifat Mekanik Paduan Aluminium 5083

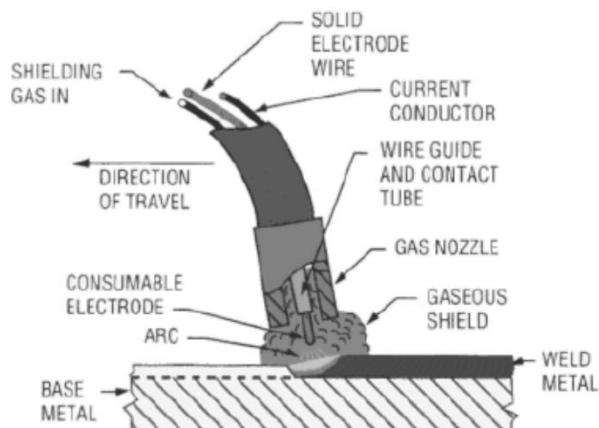
Mechanical Properties		
Temper	H32	0/H111
Proof Stress 0.2% (MPa)	240	145
Tensile Strength (MPa)	330	300
Shear Strength (MPa)	185	175
Elongation A5 (%)	17	23
Hardness Vickers (HV)	95	75

Tabel 3. Sifat Fisik Paduan Aluminium 5083

Physical Properties	
Density	2.65 g/cm ³
Melting Point	570°C
Modulus of elasticity	72 GPa
Electrical Resistivity	0.058x10 ⁻⁶ Ωm
Thermal Conductivity	121 W/m.K
Thermal Expansion	25x10 ⁻⁶ m/K

(b). Gas Metal Arc Welding (GMAW)

Pada pengelasan GMAW, daerah lasan terlindung dari atmosphere melalui gas yang dihasilkan dari alat las tersebut, seperti terlihat pada gambar 1 (Genculu, 2007). Gas pelindung yang digunakan adalah gas Argon, helium atau campuran dari keduanya. Untuk mendapatkan busur yang lebih baik kadang ditambahkan gas O₂ antara 2-5% atau CO₂ antara 5-20%.



Gambar 1. Pengelasan GMAW atau MIG

(c). Heat Input

Kualitas hasil pengelasan dipengaruhi oleh energi panas. Hal ini berarti bahwa hasil las dipengaruhi juga oleh arus las, tegangan dan kecepatan pengelasan. Hubungan antara ketiga parameter itu menghasilkan energi pengelesaan yang dikenal dengan Heat Input (HI) dan diformulasikan sebagai berikut :

$$HI = \frac{\text{Tegangan las} \times \text{Arus las}}{\text{Kecepatan las}}$$

(d). Tegangan Sisa

Dalam proses pengelesaan, bagian material yang dilas menerima panas pengelasan setempat. Dan selama proses pengelasan berlangsung, temperatur akan terus berubah-ubah sehingga distribusi temperatur menjadi

tidak merata. Oleh karena itu, pada bagian yang dilas terjadi pemuaian termal sedangkan bagian yang tidak terkena panas tidak mengalami pemuaian sehingga terbentuk halangan dalam pemuaian dan menimbulkan tegangan sisa. Tegangan sisa yang terjadi karena pengelasan ini dapat dibagi dalam dua kelompok, yaitu: (1) tegangan sisa pada bagian konstruksi yang bebas dan (2) tegangan sisa oleh adanya halangan dari luar. Tegangan sisa tersebut dapat dihitung besarnya secara dua dimensi dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\sigma_x = \frac{E}{1-\nu^2} (\varepsilon_x + \nu \varepsilon_y)$$

$$\sigma_x = \frac{E}{1-\nu^2} (\varepsilon_x + \nu \varepsilon_y)$$

Dengan:

$$\sigma_x = \text{Tegangan tegak lurus garis las}$$

$$\sigma_y = \text{Tegangan searah garis las}$$

$$\varepsilon_x = \text{Regangan tegak lurus garis las}$$

$$\varepsilon_y = \text{Regangan searah garis las}$$

$$\nu = \text{Angka perbandingan poison}$$

Untuk menghitung besarnya tegangan sisa yang terjadi dari proses pengelasan, dapat juga digunakan perangkat lunak dengan metode finite elemen. Dalam hal ini jenis pembebanan yang digunakan adalah beban thermal.

(e). Distorsi pada Pengelasan

Distribusi temperatur yang tidak merata pada proses pengelasan mengakibatkan temperatur pada daerah lasan dan HAZ lebih tinggi dari pada temperatur pada logam induk yang tidak terkena pengaruh panas. Selama proses pendinginan, daerah lasan akan menjadi padat dan menyusut sehingga terjadi tegangan tarik disekitar lasan dan HAZ. Apabila tegangan tarik yang dihasilkan melebihi tegangan yield dari logam induk, maka hal ini bisa menimbulkan deformasi plastis pada material. Deformasi plastis ini dapat menyebabkan perubahan dimensi dan penyimpangan material. Hal ini yang disebut dengan distorsi. Beberapa jenis distorsi yang dapat terjadi pada material akibat proses pengelasan ditampilkan pada berikut.

METODOLOGI

(1). Spesimen

Spesimen yang digunakan adalah aluminium 5083 yang memiliki ketebalan 12mm dan jenis bevel yang digunakan adalah single V groove yang dibuat dengan menggunakan gerinda.

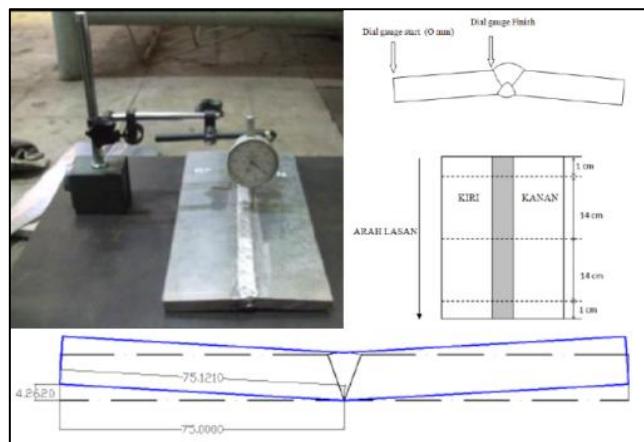
(2). Proses Pengelasan GMAW

Pada proses pengelasan ini, gas pelindung yang digunakan adalah jenis gas Argon dan menggunakan

jenis elektroda ER5356 1.2mm. Parameter yang diubah pada proses pengelasan adalah arus listrik sedangkan tegangan dijaga konstan 21 Volt. Variasi arus listrik yang digunakan adalah: 100A, 115A, 135A, 150A, dan 165A.

(3). Pengukuran Distorsi

Setelah proses pengelasan, dilakukan pengukuran penyimpangan pada masing-masing spesimen. Peralatan utama yang dibutuhkan dalam proses pengukuran distorsi adalah dial gauge, jangka sorong, dan penggaris. Dari hasil pengukuran tersebut secara analitik dapat ditentukan besarnya distorsi yang terjadi akibat proses pengelasan seperti dapat lihat pada gambar 2.



Gambar 2. Pengukuran dan Penentuan Distorsi

(4). Uji metallographic

Langkah-langkah yang dilakukan pada analisa metallographic adalah sebagai berikut:

1. Cutting; pemotongan sampel spesimen dengan ukuran 60mm x 10mm x 12mm
2. Grinding; meratakan dan menghaluskan permukaan sampel
3. Polishing; untuk mendapatkan permukaan sampel yang mengkilat seperti cermin
4. Etching; dengan cara mencelupkan pada larutan kimia tertentu selama beberapa saat.
5. Melakukan pengamatan menggunakan mikroskop electron dengan pembesaran 200 x.
6. Pembacaan ukuran butir dengan menggunakan software grain size.

(5). Analisa Tegangan Sisa

Langkah-langkah yang dilakukan pada analisa tegangan sisa adalah sebagai berikut:

1. Pembuatan model
2. Memasukkan material properties
3. Meshing
4. Pembebanan structural dengan memasukkan thermal stress sebagai beban dinamis
5. Hasil simulasi tegangan sisa

Analisa dan Pembahasan

Proses pengelasan dilakukan dengan variasi heat input dan didapatkan data sebagai berikut:

Tabel 4. Heat Input Pengelasan

No	Average Time (min)	Average Travel Speed (mm/min)	Average HI (kJ/mm)
1	1.075	282.0975	0.406
2	1.075	280.855	0.468
3	1.076	279.5975	0.551
4	1.076	280.05	0.610
5	1.09	277.125	0.679

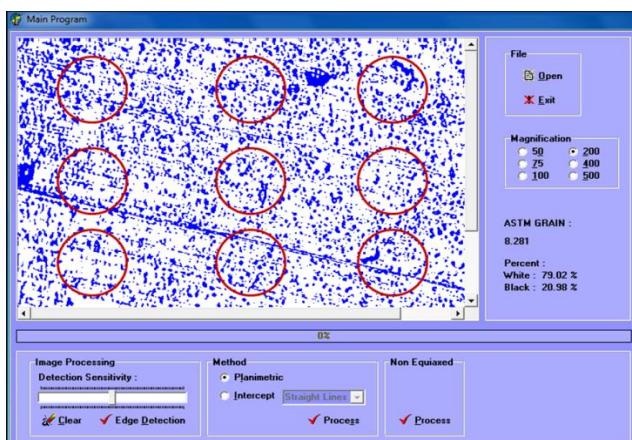
Hasil pengukuran terhadap penyimpangan geometri dilakukan dan ditunjukkan pada tabel berikut.

Tabel 5. Pengukuran Penyimpangan

Spesimen	Penyimpangan			
	Atas	Tengah	Bawah	Rata-rata
I	1.51	1.91	1.65	1.69
II	2.65	2.41	2.71	2.59
III	3.47	3.36	3.83	3.55
IV	3.19	2.93	3.23	3.12
V	3.39	3.30	3.39	3.36

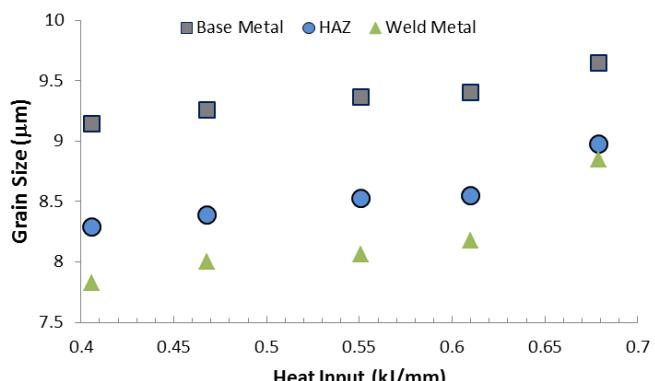
(I). Struktur Mikro

Hasil pengamatan dengan menggunakan mikroskop elektron dievaluasi lebih lanjut dengan menggunakan software grain size.



Gambar 3. Pengamatan dengan software grain size

Dari software grain size tersebut didapatkan ukuran grain size untuk masing-masing spesimen. Lokasi pengukuran untuk $HI = 0.551 \text{ kJ/mm}$ pada base metal dengan sembilan titik evaluasi ditunjukkan pada gambar 3. Hasil pengamatan grain size pada base metal, HAZ dan weld metal ditampilkan pada gambar 4. Pada gambar 4 dapat kita ketahui bahwa semakin besar heat input, maka semakin besar pula grain size yang terjadi. Hal ini terjadi karena beban thermal yang diberikan semakin besar maka temperatur pada material juga mengalami peningkatan. Atom-atom akan bergerak lebih cepat pada temperatur yang lebih tinggi.



Gambar 4. Hubungan Heat Input dengan Grain Size

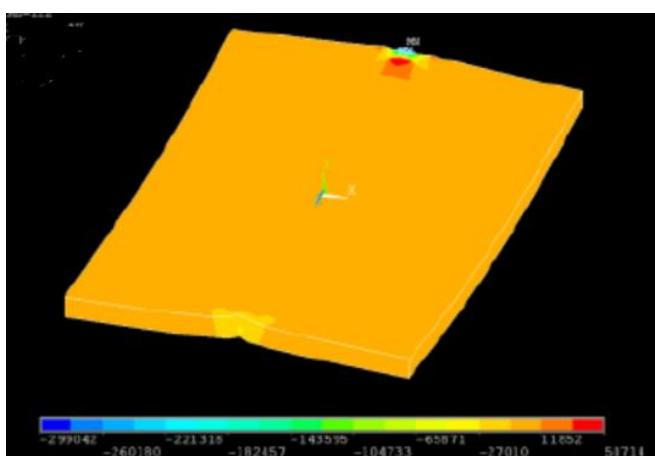
Tetapi ketika proses beban thermal sudah selesai maka akan terjadi proses pendinginan yang membuat atom-atom yang semula bergerak cepat menjadi lebih lambat. Atom-atom tadi akan membentuk ikatan dengan atom yang ada di sekelilingnya yang disebut dendrite. Dendrit ini akan terhubung dengan dendrit-dendrit yang lain sehingga terbentuk grain. Jadi semakin tinggi temperatur material, maka akan semakin lama laju pendinginannya yang mengakibatkan denrit dan grain yang terbentuk akan semakin besar. Tegangan sisa hasil perhitungan analitik dua dimensi di tampilkan pada tabel 6 berikut.

Tabel 6. Tegangan Sisa Searah Sumbu X

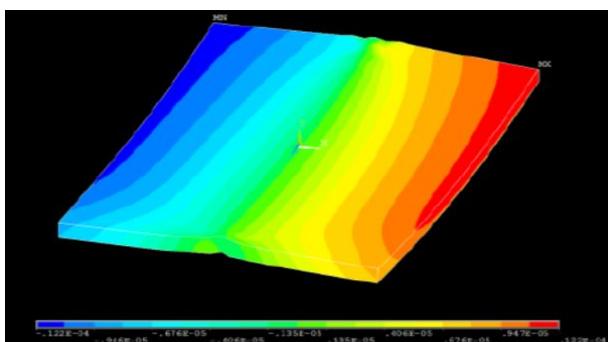
Spesimen	E (Pa)	$1 - v^2$	ϵ_x	ϵ_y	σ_x (MPa)
I	$7.10e+10$	0.8911	$1.27e-7$	0	0.010
II	$7.10e+10$	0.8911	$3.00e-7$	0	0.024
III	$7.10e+10$	0.8911	$5.53e-7$	0	0.044
IV	$7.10e+10$	0.8911	$4.31e-7$	0	0.034
V	$7.10e+10$	0.8911	$5.02e-7$	0	0.040

(II). Pemodelan Simulasi

Pada pemodelan numerik, model diberikan beban thermal secara merata pada kampuh lasan. Hasil simulasi dengan metode finite elemen dapat dilihat pada gambar berikut. Selain tegangan sisa, distorsi dari material akibat proses pengelasan juga bisa didapat dari hasil simulasi ini.



Gambar 5. Tegangan Sisa Arah Sumbu X



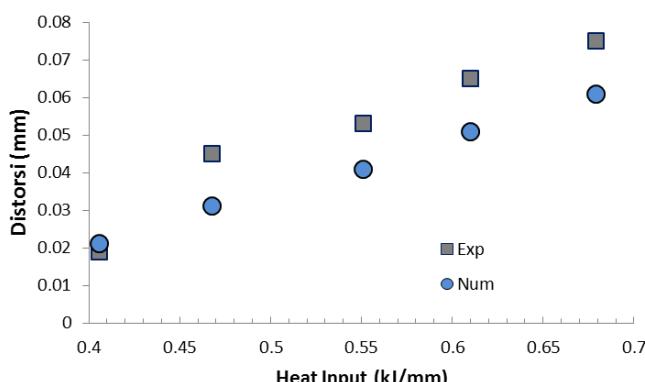
Gambar 6. Distorsi Searah Sumbu x

Dari gambar 5 dan 6, diketahui bahwa dengan heat Input 0.406kJ/mm dihasilkan tegangan sisa sebesar -180999Pa/30695Pa. Sedangkan distorsi yang terjadi searah sumbu x sebesar -0.210e-04m /0.210e-04 m.

(III). Perbandingan Hasil Eksperimen dengan Pemodelan

(IIIa). Distorsi

Komparasi antara distorsi hasil eksperimen dan simulasi ditampilkan pada gambar 8 dibawah ini.

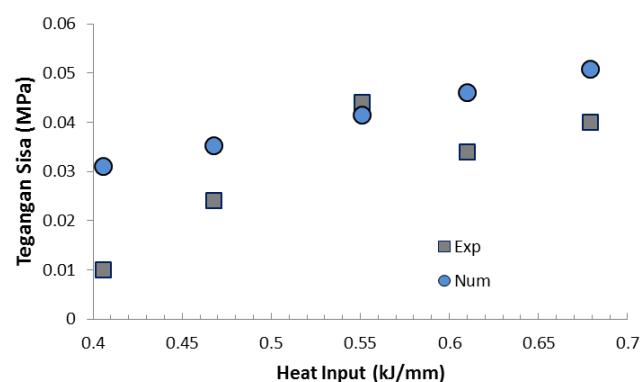


Gambar 7. Distorsi hasil eksperimen dan simulasi numerik

Dari gambar 7 diatas dapat kita ketahui bahwa seiring dengan bertambahnya heat input, baik secara eksperimen maupun numerik distorsi yang dihasilkan sama-sama menunjukkan nilai yang semakin besar. Perubahan nilai distorsi secara simulasi numerik lebih signifikan dibandingkan perubahan nilai distorsi secara eksperimen. Hal ini disebabkan pada eksperimen, proses distorsi masih terpengaruh oleh keadaan lingkungan yang tidak teratur. Sedangkan pada simulasi pemodelan numerik kondisi yang terjadi dianggap ideal.

(IIIb). Tegangan Sisa

Komparasi antara tegangan sisa hasil eksperimen dan simulasi ditampilkan pada gambar 8. Heat Input mempunyai pengaruh yang signifikan terhadap tegangan sisa yang dihasilkan. Semakin tinggi beban thermal yang diberikan, maka daerah lasan akan menerima panas dan tegangan tekan yang lebih besar.



Gambar 8. Perbandingan Tegangan Sisa dari Hasil Eksperimen dan Simulasi Numerik

Gambar 8 menunjukkan bahwa tegangan sisa semakin besar seiring dengan bertambahnya heat input, baik pada hasil eksperimen maupun pada hasil simulasi numerik. Hal ini sesuai dengan eksperimen yang dilakukan oleh Futichah (2007). Semakin tinggi arus las yang digunakan maka tegangan sisa yang dihasilkan juga akan semakin besar.

Kesimpulan

Heat input mempunyai pengaruh yang signifikan terhadap perubahan mikrostruktur. Semakin besar heat input yang diberikan maka distorsi, tegangan sisa dan grain size yang terjadi pada material meningkat secara proporsional. Hasil eksperimen dan simulasi menunjukkan bahwa besarnya tegangan sisa yang dihasilkan antara pemodelan numerik dengan eksperimen mempunyai perbedaan sebesar 0.57%. Sedangkan distorsi yang dihasilkan antara pemodelan numerik dengan eksperimen mempunyai perbedaan sebesar 0.86%.

Referensi

- ASME section IX. Qualification Standard For Welding. New York (2001)
- Anam, Muhammad S., Analisa Perilaku Tegangan Sisa dan Sudut Distorsi Pada Sambungan Fillet Dengan Variasi Tebal Pelat Menggunakan Metode Elemen Hingga. Surabaya (2009)
- Okumura, T., Wiryosumarto, H., Teknologi Pengelasan Logam. Pradnya Paramita, Jakarta (1996)
- ASME section II. Materials. New York (2001)
- Genculu, Semih, "Structural Steel Welding". Dakota (2007)
- Futichah, Djoko K. dan Saeful H. Pengaruh Pola Arus dan Waktu Pengelasan Pada Sambungan Las Tutup-Kelongsong Zirkaloi-2 Terhadap Laju Korosi Dalam Uap Air, Urania, ISSN 0852-4777 (2007)