

SIMULASI PERPINDAHAN PANAS KONDUKSI PADA PENGELOASAN LOGAM TAK SEJENIS ANTARA BAJA TAHAN KARAT AISI 304 DAN BAJA KARBON RENDAH SS 400 DENGAN METODE BEDA HINGGA

Eko Prasetya B¹, Zainal Arifin¹, Tri Joko S²

¹ Staf Pengajar – Jurusan Teknik Mesin – Universitas Sebelas Maret

² Alumnus Jurusan Teknik Mesin – Universitas Sebelas Maret

Keywords :

*Numerical computation
Heat transfer
Finite Different
Dissimilar metal welding
ADI method*

Abstract :

Welding is a process which combine two material to became one, so that formed a connection with chemistry reaction that resulted from consumption of heat and pressure. Welding can be classified into three type : liquid welding, pressure welding and solder. Dissimilar-metal welding is weld join between two type of metal with different characteristic. Today, the development of technology and economic demand more increase so that dissimilar-metal welding between carbon steel and stainless steel is more useful for technic.

This research uses finite different method : ADI method (Alternating direction implicit). The step in this method is : using two dimension unsteady conduction heat transfer equation, making diskrititation, making a programs with it's visualitation and then analyzing this program, so that generate the numerical simulation research.

The result of program simulation shows differnt distribution temperature in the left and right. The distribution temperature left plate is larger than the right plate, it caused by conduction heat transfer coefisien factor each plate. Thermal conduction value is higher, so the distribution temperature that material is larger too.

PENDAHULUAN

Pengelasan adalah proses dimana dua bahan/material digabungkan menjadi satu sehingga terbentuk suatu sambungan melalui ikatan kimia yang dihasilkan dari pemakaian panas dan atau tekanan. Definisi menurut Deutsche Industry Normen (DIN), las adalah ikatan metalurgi pada sambungan logam atau logam paduan yang dilakukan dalam keadaan lumer atau cair. Pada mulanya pengelasan hanya berfungsi sebagai perbaikan dan pemeliharaan alat-alat yang terbuat dari logam baik sebagai proses penambalan retak-retak, penyambungan sementara, maupun sebagai alat pemotong bagian-bagian yang dibuang atau diperbaiki. Luasnya penggunaan teknologi pengelasan disebabkan karena bangunan dan mesin yang dibuat dengan mempergunakan teknik penyambungan ini menjadi lebih ringan dan proses pembuatannya juga lebih sederhana, sehingga biaya keseluruhannya menjadi lebih murah.

Dalam perancangan konstruksi bangunan dan mesin dengan sambungan las, harus direncanakan pula tentang cara pengelasan, cara pemeriksaan, bahan las dan jenis las yang akan dipergunakan, berdasarkan fungsi dari bagian-bagian bangunan atau mesin yang dirancang.

Berdasarkan cara kerja yang digunakan, pengelasan dapat diklasifikasikan menjadi 3 kelas utama yaitu :

1. Pengelasan cair, adalah cara pengelasan dimana sambungan dipanaskan sampai mencair dengan

sumber panas dari busur listrik atau semburan api gas yang terbakar.

2. Pengelasan tekan, adalah cara pengelasan dimana sambungan dipanaskan dan kemudian ditekan hingga menjadi satu.
3. Pematريان, adalah cara pengelasan dimana sambungan diikat dan disatukan dengan menggunakan paduan logam yang mempunyai titik cair rendah. Dalam cara ini logam induk tidak turut mencair.

Kemajuan teknologi yang pesat sehingga dibutuhkan teknik pengelasan yang baik, ekonomis dan efisien. Salah satu teknik pengelasan yang dikembangkan pada saat ini yaitu teknik penyambungan dua jenis logam yang berbeda (*dissimilar-metal welding*). *Dissimilar-metal welding* merupakan teknik penyambungan antara dua jenis logam yang berbeda sifatnya dengan cara dilas. Dari berbagai jenis logam, penyambungan baja karbon (*carbon steel*) dengan baja tahan karat (*stainless steel*) merupakan cara ekonomis dalam penghematan material dan cukup luas digunakan dalam industri kereta api dan konstruksi bangunan.

Proses perpindahan panas adalah ilmu untuk meramalkan perpindahan energi yang terjadi karena adanya perbedaan suhu diantara benda atau material. Proses perpindahan panas dapat terjadi melalui tiga cara, yaitu secara konduksi, konveksi dan radiasi. Perpindahan panas konduksi adalah perpindahan panas yang tanpa disertai dengan pergerakan objek,

perpindahan panas konduksi ini sering kita jumpai dalam kehidupan sehari-hari.

Perpindahan panas konduksi dapat dibedakan menjadi dua macam yaitu konduksi keadaan tunak (*steady state*) dan konduksi keadaan tak tunak (*unsteady state*). Konduksi tunak adalah proses konduksi dimana nilai panas (kalor) sama terhadap waktu, sedangkan konduksi keadaan tak tunak adalah proses konduksi yang nilai panasnya berubah terhadap waktu.

Penelitian mengenai perpindahan panas konduksi tak tunak telah banyak dilakukan untuk memperoleh suatu metode penyelesaian yang lebih cepat, tepat, akurat dan tidak membutuhkan banyak biaya. Oleh karena itu, dikembangkan penelitian secara numerik yaitu dengan pendekatan pemrograman komputer yang dapat menghasilkan data mendekati pengujian aktual (eksperimen).

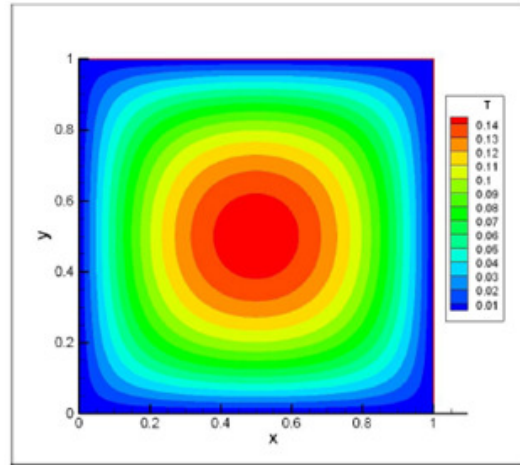
Dengan berkembangnya teknologi, penelitian tentang perpindahan panas konduksi dengan simulasi pemrograman komputer telah banyak diterapkan dalam bidang industri, salahsatunya dapat diterapkan dalam proses pengelasan. Pengelasan adalah proses dimana dua bahan digabungkan menjadi satu sehingga terbentuk suatu sambungan melalui ikatan kimia yang dihasilkan dari pemakaian panas dan atau tekanan. Teknik pengelasan yang digunakan dalam penelitian kali ini adalah teknik penyambungan dua jenis logam yang berbeda (*dissimilar-metal welding*).

Pengelasan dengan bahan logam yang berbeda menjadi menarik karena banyaknya perbedaan. Perbedaan tersebut antara lain : dalam sifat fisik, sifat mekanik dan juga metalurgi dari logam itu sendiri. Selain perbedaan karakteristik dari logam dasar tersebut, arah dari perambatan panas pada saat pengelasan juga menarik untuk diteliti, karena bahan logam yang dilas berbeda tentunya nilai k (konduktivitas termal) juga berbeda. Sehingga akan terjadi fenomena perpindahan panas konduksi yang berbeda pula, hal ini menarik untuk disimulasikan. Oleh karena itu, perlu adanya kajian akan pengaruh "analisis numerik perpindahan panas konduksi pada pengelasan logam tak sejenis antara baja tahan karat AISI 304 dan baja karbon rendah SS 400 dengan metode beda hingga".

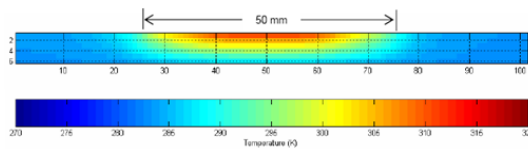
TINJAUAN PUSTAKA

Yao Wei, Wang Jian, Liao Guangxuan (2007) melakukan penelitian yang hasilnya berupa simulasi perpindahan panas suatu material yang didalamnya terdapat sumber panas yang seragam. Dimana kondisi batas disetiap sisinya dibuat 0°C. Pada Gambar 1 dapat dilihat arah perambatan panas dari pusat material menuju tepi material.

Abraham (2005) telah melakukan penelitian tentang analisa numerik perpindahan panas konduksi pada sebuah TFG (*thin film gauge*) yang mengasumsikan konduktivitas thermalnya konstan dan kondisinya *steady*. Distribusi temperatur pada TFG tersebut dapat dilihat pada Gambar 2.

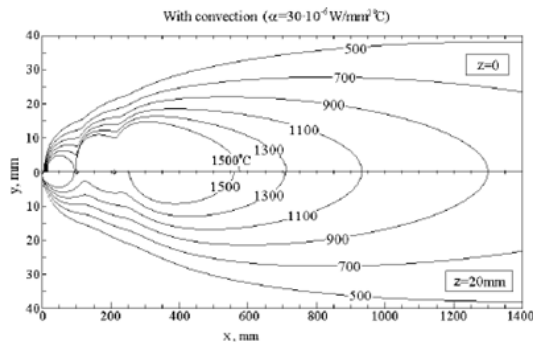


Gambar 1. Distribusi temperatur sumber panas didalamnya

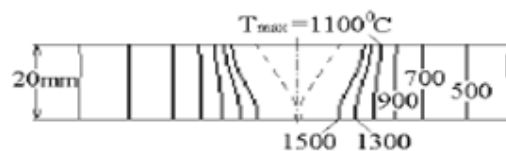


Gambar 2. Distribusi temperatur analisis numerik dari TFG

Artem Pilipenko (2001) telah melakukan penelitian simulasi komputer distribusi temperatur pada pengelasan dua plat padat dengan sumber panas yang bergerak. Dari Gambar 3 dapat kita lihat distribusi suhu dalam arah (x-y) dimana kisaran suhu pengelasan mencapai 1500°C, sedang Gambar 4 menunjukkan distribusi suhu dalam arah (z-y).



Gambar 3. Distribusi temperatur tampak atas (x-y)



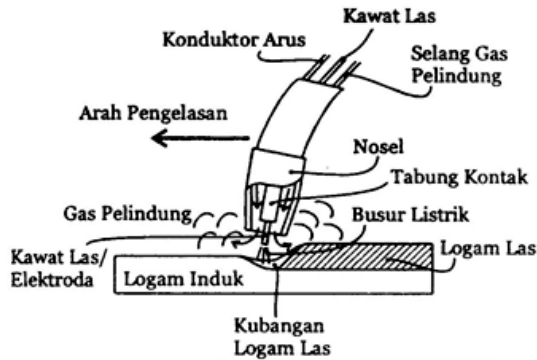
Gambar 4. Distribusi temperatur tampak samping (z-y)

DASAR TEORI

Las Logam

Secara umum las dapat didefinisikan sebagai ikatan metalurgi pada sambungan logam atau paduan yang terjadi dalam keadaan cair. Dari batasan tersebut las dapat diartikan sebagai sambungan setempat dari beberapa batang logam dengan menggunakan energi panas (Wiryosumarto, 2000).

Pengelasan logam berbeda (*dissimilar – metal welding*) dapat diartikan sebagai penyambungan dua logam yang berbeda jenis dan karakteristiknya dengan cara dilas. Sebagai contoh yaitu pengelasan antara baja tahan karat dan baja karbon. Dalam pengelasan logam berbeda banyak faktor yang harus diketahui dan diperhitungkan. Sifat mekanik kedua logam yang akan dilas harus diketahui secara pasti, sehingga dalam proses pengelasan tidak terjadi kegagalan dan dihasilkan lasan yang baik. Konduktivitas termal, titik cair dan koefisien ekspansi termal akan menjadi pertimbangan dalam menentukan jenis pengelasan yang akan dilakukan.



Gambar 5. Skema proses pengelasan

Persamaan Atur

Secara umum persamaan perpindahan panas konduksi dua dimensi adalah sebagai berikut :

a. Perpindahan panas konduksi 2 dimensi *steady*
 Pada perpindahan panas konduksi 2 dimensi *steady* (takunak) berlaku persamaan laplace dengan rumus :

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} = 0 \tag{1}$$

b. Perpindahan panas konduksi 2 dimensi *unsteady* (tak tunak)

Untuk persamaan 2 dimensi *unsteady* biasanya menggunakan rumus :

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} = \frac{1}{\alpha} \frac{\partial T}{\partial t} \tag{2}$$

c. Perpindahan panas konduksi 2 dimensi *unsteady* yang terdapat sumber panas

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{q}{k} = \frac{1}{\alpha} \frac{\partial T}{\partial t} \tag{3}$$

Dimana :

∂T = Variabel temperatur

∂t = Variabel waktu

∂x = Variabel panjang

∂y = Variabel lebar

q = Sumber panas,

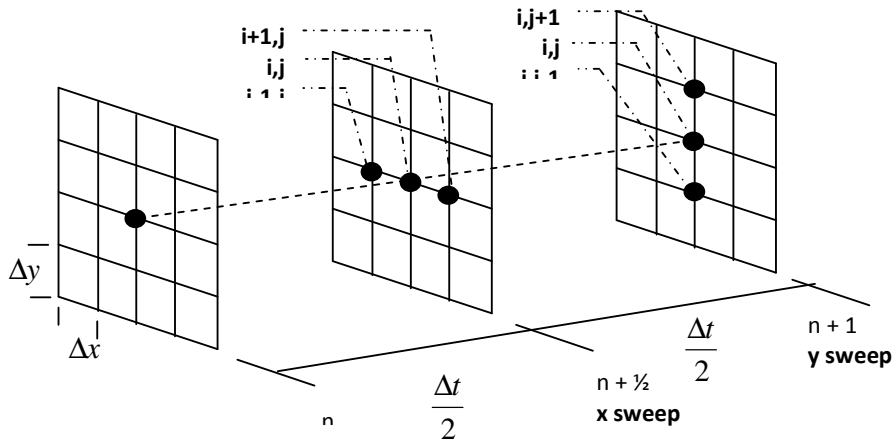
k = Konduktivitas termal

α = Difusivitas Termal

Metode Beda Hingga

Metode beda hingga merupakan suatu metode penyelesaian persamaan diferensial dengan menggunakan pendekatan aljabar beda hasil bagi yang diturunkan dari deret Taylor. Pada perpindahan panas konduksi 2 dimensi *unsteady*, metode yang biasa digunakan adalah Metode ADI (*Alternating Direction Implicit*). Metode *Alternating Direction Implicit* (ADI) memiliki dua tahap yaitu:

- Tahap I disebut *x-sweep*
- Tahap II disebut *y-sweep*



Gambar 6. Skema metode ADI

Diskritisasi Persamaan Atur Pengelasan

Persamaan atur pengelasan :

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\dot{q}}{k} = \frac{1}{\alpha} \frac{\partial T}{\partial t} \quad (4)$$

Diskritisasi dengan metode ADI :

X – Sweep (perhitungan ke arah x)

$$a_i T^{n+\frac{1}{2}}_{i-1,j} + b_i T^{n+\frac{1}{2}}_{i,j} + c_i T^{n+\frac{1}{2}}_{i+1,j} = d_i \quad (5)$$

Dengan komponen a_i , b_i , c_i dan d_i masing-masing adalah :

$$a_i = -\frac{\alpha \Delta t}{2(\Delta x)^2} \quad b_i = 1 + \frac{\alpha \Delta t}{(\Delta x)^2}$$

$$c_i = -\frac{\alpha \Delta t}{2(\Delta x)^2}$$

$$d_i = T^n_{i,j} + \frac{\alpha \Delta t}{2(\Delta y)^2} [T^n_{i,j-1} - 2T^n_{i,j} + T^n_{i,j+1}] + \frac{\dot{q} \alpha \Delta t}{k} \frac{\Delta x^2}{2}$$

Y – Sweep (perhitungan ke arah y)

$$a_j T^{n+1}_{i,j-1} + b_j T^{n+1}_{i,j} + c_j T^{n+1}_{i,j+1} = d_j \quad (6)$$

Dengan komponen a_j , b_j , c_j dan d_j masing-masing adalah :

$$a_j = -\frac{\alpha \Delta t}{2(\Delta y)^2} \quad b_j = 1 + \frac{\alpha \Delta t}{(\Delta y)^2}$$

$$c_j = -\frac{\alpha \Delta t}{2(\Delta y)^2}$$

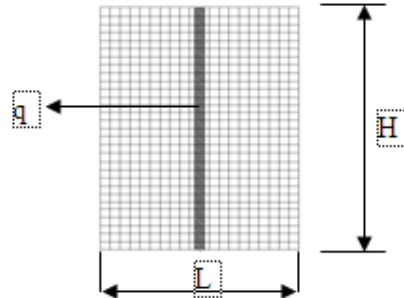
$$d_j = T^{n+\frac{1}{2}}_{i,j} + \frac{\alpha \Delta t}{2(\Delta x)^2} [T^{n+\frac{1}{2}}_{i-1,j} - 2T^{n+\frac{1}{2}}_{i,j} + T^{n+\frac{1}{2}}_{i+1,j}] + \frac{\dot{q} \alpha \Delta t}{k} \frac{\Delta y^2}{2}$$

Penentuan Kondisi Batas

Dalam penelitian ini, kondisi batas di tepi masing-masing plat merupakan kondisi batas konveksi, nilai suhu lingkungan (T_∞) adalah 30°C, nilai koefisien perpindahan panas konveksi (h) = 40 W/m².°C dan temperatur awal plat = 20°C. Ukuran titik dari sumber panas adalah 10x10x3 mm.

Pada penelitian ini, nilai sumber panas (\dot{q}) didapatkan dari :

$$\dot{q} = \eta \cdot \frac{\text{Daya}}{\text{volume}} = 0,75 \times \frac{19 \times 50}{0,01 \times 0,01 \times 0,003} = 2375 \times 10^6 \text{ W/m}^3$$



Gambar 7. Domain model pengelasan

Syarat awal :
 $T(x, y, 0) = 20^\circ\text{C}$
 Syarat batas :

$$x = 0 \quad -\frac{\partial T}{\partial x} + h(T - T_\infty) = 0$$

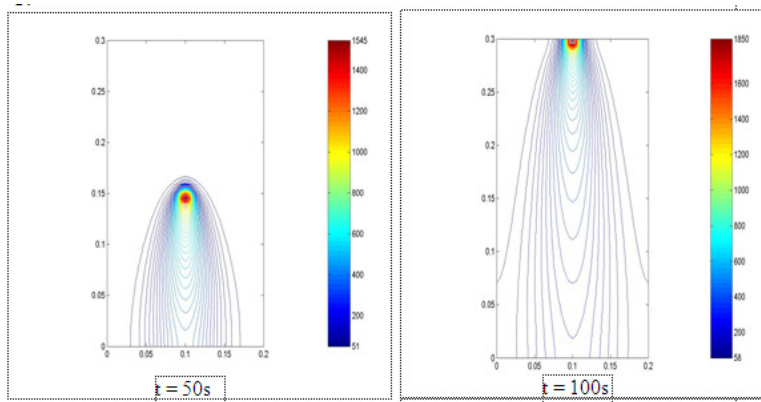
$$x = L \quad \frac{\partial T}{\partial x} + h(T - T_\infty) = 0$$

$$y = 0 \quad -\frac{\partial T}{\partial y} + h(T - T_\infty) = 0$$

$$y = H \quad \frac{\partial T}{\partial y} + h(T - T_\infty) = 0$$

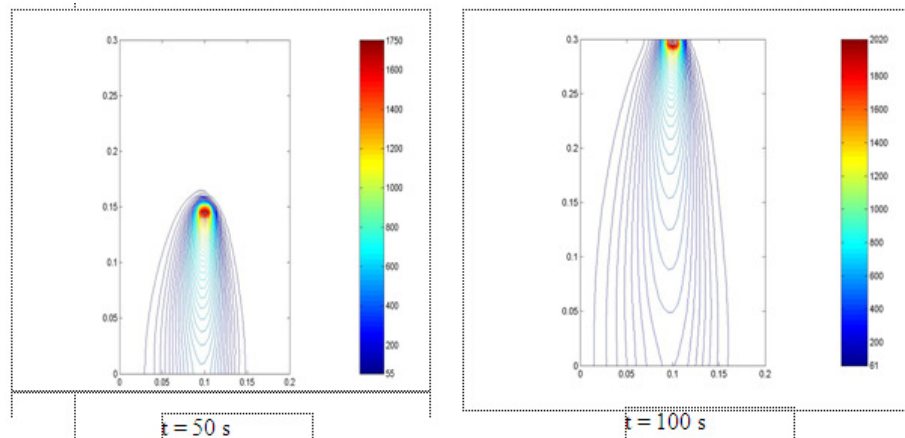
HASIL DAN PEMBAHASAN
Pengelasan logam sejenis

Kasus konduksi dengan batas konveksi pada proses pengelasan yang dikerjakan dengan metode beda hingga ditampilkan dengan susunan grid 61 x 41 dengan $\Delta x = \Delta y = 0,005$ langkah waktu $\Delta t = 0,001$ dan koefisien perpindahan panas konveksi (h) = 40 W/m².°C, dengan kecepatan pengelasan 0,003 m/s, suhu lingkungan sekitar diasumsikan 30°C.



Gambar 8. Hasil simulasi untuk logam sejenis

Dari Gambar 8 menunjukkan distribusi temperatur dari proses pengelasan logam sejenis baja karbon rendah SS 400 dengan variasi terhadap waktu. Dari hasil pengelasan di atas menunjukkan distribusi temperatur yang halus, dapat kita ketahui bahwa nilai konduktivitas termal suatu material berbanding lurus dengan luas penyebaran dari perambatan panas material, semakin tinggi nilai konduktivitas termal suatu material maka semakin luas pula penyebaran dari perambatan panas material tersebut.



Gambar 9. Hasil simulasi untuk logam tak sejenis

Gambar 9 menunjukkan distribusi temperatur pada pengelasan plat 2D dengan batas konveksi, dimana plat di sebelah kiri merupakan baja karbon rendah SS 400, dan di sebelah kanan baja tahan karat AISI 304. Dari Gambar di atas dapat dilihat bahwa terdapat perbedaan penyebaran distribusi temperatur disebelah kiri dan kanan. Pada plat sebelah kiri distribusinya lebih menyebar dibanding plat sebelah kanan, hal ini disebabkan oleh faktor koefisien perpindahan panas konduksi masing-masing plat. Plat baja karbon rendah SS 400 (sebelah kiri) mempunyai nilai konduktivitas termal lebih tinggi dibanding plat baja tahan karat AISI 304 (sebelah kanan).

KESIMPULAN

Dari penelitian yang telah dilakukan dapat diambil beberapa kesimpulan :

- Metode beda hingga (Metode ADI) mampu menghasilkan simulasi numerik proses pengelasan logam antara baja karbon rendah SS 400 dan baja tahan karat AISI 304 pada kondisi batas konveksi dengan hasil yang akurat.
- Hasil simulasi untuk pengelasan logam sejenis dapat dilihat pada Gambar 8 dan hasil simulasi untuk pengelasan logam tak sejenis dapat dilihat pada Gambar 9.
- Dari hasil simulasi untuk pengelasan logam tak sejenis menunjukkan perbedaan. Perbedaan itu terletak pada distribusinya yang tidak sama, pada plat sebelah kiri (baja karbon rendah

Pengelasan logam tak sejenis

Kasus konduksi dengan batas konveksi pada proses pengelasan antara baja karbon rendah SS 400 dengan baja tahan karat AISI 304 yang dikerjakan dengan metode beda hingga ditampilkan dengan susunan grid 61×41 dengan $\Delta x = \Delta y = 0,005$ langkah waktu $\Delta t = 0,001$ dan koefisien perpindahan panas konveksi $(h) = 40 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$, dengan kecepatan pengelasan $= 0,003 \text{ m/s}$, suhu lingkungan sekitar diasumsikan $= 30^\circ\text{C}$.

SS 400) distribusinya lebih menyebar dibanding plat sebelah kanan (baja tahan karat AISI 304).

- Nilai konduktivitas masing-masing logam/plat mempengaruhi distribusi temperatur hasil pengelasan, semakin tinggi nilai konduktivitas termalnya maka distribusinya semakin luas.

DAFTAR PUSTAKA

- Abraham, 2005, "Computational Study on Conduction Heat Transfer Through a Thin Film Gauge".
- Hoffman, Klaus A, 1989, *Computational Fluid Dynamics for Engineering*, Engineering System TM Austin, Texas, USA.
- Incropera, F.M, 1996, *Introduction to Heat Transfer*, John Wiley & Sons, USA.
- Pilipenko, Artem, 2001, *Computer Simulation of Residual Stress and Distortion of Thick Plate in Multi-Electrode Submerged Arc Welding*, Department of Machine Design and Materials Technology, Norwegian University of Science and Technology, Norway.
- Soesianto F. dan Eko Nugroho, 1994, *Bahasa Fortran*, Andi Offset, Yogyakarta.

Wiryo Sumarto, Harsono, 2000, *Teknologi Pengelasan Logam*, Pradnya Paramita, Jakarta.

Yao Wei, Wang Jian, Liao Guangxuan, 2007, "Grid-Independent Issue in Numerical Heat Transfer".