

STUDI VARIASI SUHU TERHADAP KUAT MEKANIK SAMBUNGAN ANTARA BAJA DENGAN TEMBAGA PADA PROSES *FURNACE BRAZING*

Bambang Waluyo Febriantoko

Jurusan Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Surakarta

Jl. A. Yani PO BOX 1 Pabelan Surakarta 57102

E mail : bambangwf@gmail.com

ABSTRAK

Aplikasi furnace brazing digunakan pada pembuatan mold/dies dengan metode laminated steel tooling. Kekuatan sambungan antara logam induk dengan logam pengisi (filler) merupakan permasalahan yang utama. Kekuatan ini tergantung dari material logam induk, material logam pengisi, suhu proses brazing, tekanan proses dan metode brazing. Penelitian ini menyelidiki variasi suhu proses furnace brazing antara logam induk baja mild steel dengan logam pengisi tembaga.

Metode penyambungan antara mild steel dengan baja dilakukan dengan menggunakan jig untuk memberi tekanan selama proses brazing. Jig berikut dengan spesimen uji tarik, uji geser, dan uji belah dilakukan pemanasan didalam furnace serta didinginkan dengan perlahan setelah mencapai suhu penelitian. Pengujian mekanis dilakukan dengan mesin Universal Testing Machine.

Hasil penelitian menunjukkan semakin tinggi suhu brazing akan didapatkan kekuatan yang semakin naik, namun suhu maksimum tergantung dari titik leleh logam pengisi.

Kata kunci : *Brazing, Kuat Mekanik, Baja, Tembaga*

PENDAHULUAN

Penyambungan pada logam dengan logam lain dilakukan dengan banyak cara, diantaranya dengan las, lem, solder, baut, paku keling dan brazing. Brazing salah satu cara penyambungan yang banyak dilakukan untuk menyambung plat tipis yang tidak mungkin digunakan metode las. Pada pembuatan dies/*mold* dengan metode rapid prototyping dengan menggunakan cara *Laminated Steel Tooling* (LST) maupun layer manufacturing brazing banyak memegang peranan yang penting. Metode LST menggunakan plat baja yang disusun tiap layer dengan menggunakan brazing maupun lem untuk menyambung tiap layer plat. Kekuatan sambungan antara baja dan tembaga sebagai logam pengisi inilah yang

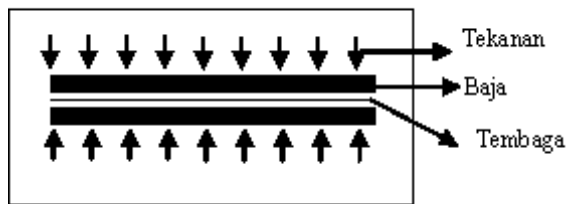
akan dibahas pada penelitian ini dengan memvariasikan suhu pada proses brazing didalam *furnace*.

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

Dalam usaha untuk mengaplikasikan pendinginan *conformal*, laminasi brazing bahan Aluminium yang dilakukan dengan memberikan *filler* ditengahnya dan diberi tekanan selama pemanasan pada suhu 610°C selama 1 jam telah terjadi *diffusion bonding* yang erat sehingga air pendingin tidak masuk ke dalam *mold* (Himmer dkk, 1999). Uji coba pada bahan *mild steel* dilakukan oleh peneliti dengan cara metode brazing *mild steel* dan Tembaga pada suhu 1110°C

dengan waktu tahan di dalam furnace selama 30 menit (Wimpeny dkk, 2003). Bryden dkk, (2001) melakukan brazing bahan *mild steel* dengan *filler* Ag-Cu-Zn-Sn pada tekanan 1,7 MPa dengan suhu 720°C. Yoon & Na (2003), melakukan penelitian pembuatan Rapid Lami-nated Tooling dengan membandingkan proses brazing dengan solder mendapatkan bahwa metode brazing mempunyai kekuatan yang lebih tinggi.

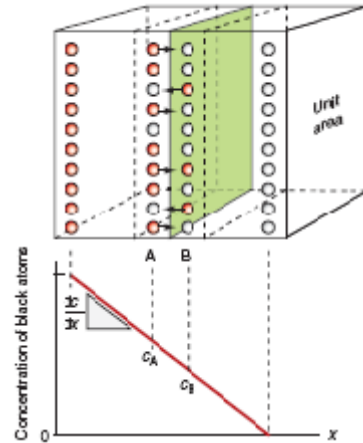
Brazing merupakan metode penyambungan dua logam dengan menggunakan *filler* pengisi dengan cara pemanasan dibawah suhu *melting* logam pengisinya. Proses brazing dilakukan dengan ciri: komposisi logam *filler* pengisi untuk brazing selalu berbeda dengan komposisi logam induk, kekuatan sambungan brazing ini selalu dibawah kekuatan logam induk, *melting point* dari *filler* brazing selalu lebih rendah dari logam induk, metode perekatan dari dua logam ini dengan cara difusi atom (De Garmo dkk, 1984).



Metode perekatan ini dapat dilihat pada Gambar 1, *filler* pengisi berada ditengah dan dijepit oleh logam induk. Tekanan diberikan pada kedua sisi dan dilakukan pemanasan di dalam *furnace* beserta dengan jignya.

Pemanasan dengan temperatur yang tepat akan menjaga kualitas brazing, temperatur terlalu tinggi membuat *filler* meleleh, jika temperatur terlalu rendah maka kekuatan sambungan akan menurun (Wimpeny dkk, 2003).

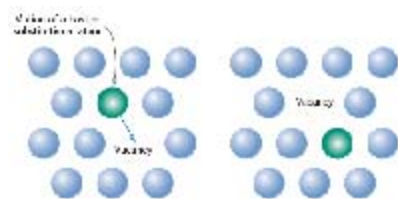
Difusi merupakan perpindahan atom dari satu tempat ke tempat lainnya. Tipe dari difusi material solid yaitu : *self diffusion* dan *interdiffusion*. *Self diffusion* adalah perpindahan atom pada satu jenis bahan. *Interdiffusion* adalah perpindahan atom antara dua atau lebih jenis bahan yang berbeda.



Gambar 2 Mekanisme interdiffusion, (Ashby, 2007)

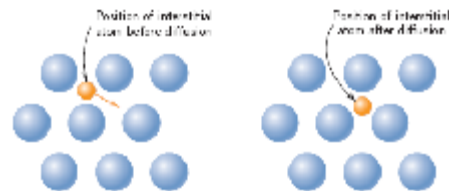
Mekanisme terjadinya difusi terbagi oleh: difusi *vacancy* dan difusi *interstitial*.

Difusi *Vacancy* adalah mekanisme perpindahan atom karena ada kekosongan tempat. Kekosongan ini akan diisi oleh atom yang lain, seperti pada Gambar 3



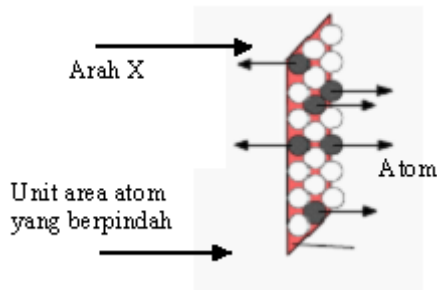
Gambar 3 Mekanisme difusi Vacancy (Callister, 2007)

Difusi *interstitial* adalah mekanisme perpindahan atom karena gerakan atom didalam rongga atom, diilustrasikan pada Gambar 4.



Gambar 4 Mekanisme difusi Interstitial (Callister, 2007)

Pemodelan teori difusi berdasarkan oleh jumlah flux yang berdifusi ke logam lain. Flux dapat dijelaskan pada Gambar 5, yaitu perpindahan atom persatuan luas.



Gambar 5 Mekanisme perpindahan atom

Persamaan perhitungan flux (J) adalah

$$J = \frac{1}{A} \frac{dM}{dt} \text{ atau } \left[\frac{\text{atom}}{\text{m}^2 \text{s}} \right] \quad (1)$$

dengan J adalah flux, A adalah luas area yang terdifusi.

Perhitungan flux difusi (J) menurut persamaan dari hukum Fick's pertama kondisi satu dimensi adalah :

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad J = -D \frac{dC}{dx} \quad (2)$$

dengan D merupakan koefisien difusi, $\frac{dC}{dx}$

merupakan gradien konsentrasi bahan (massa / volume dibagi dengan jarak).

Hubungan antara koefisien difusi dengan temperatur digunakan persamaan :

$$D = D_0 \exp \left(- \frac{Q}{RT} \right) \quad (3)$$

dengan D_0 adalah pre exponential dari bahan, Q adalah energi aktivasi, R merupakan konstanta gas, dan T adalah temperatur.

Hubungan antara kekuatan sambungan dengan difusi yang terjadi dipengaruhi oleh jumlah flux (jumlah atom per satuan luas). Sedangkan tegangan tarik (σ) pada kekuatan sambungan adalah :

(4)

dengan P adalah gaya tarik, A adalah luas area penyambungan.

Sehingga semakin besar jumlah flux dari filler yang terdifusi ke dalam logam induknya maka akan semakin besar pula tegangan tariknya.

Untuk tegangan geser (δ) pada kekuatan sambungan dapat dirumuskan :

$$\tau = \frac{P}{A} \quad (5)$$

dengan P adalah gaya geser, A adalah luas area penyambungan

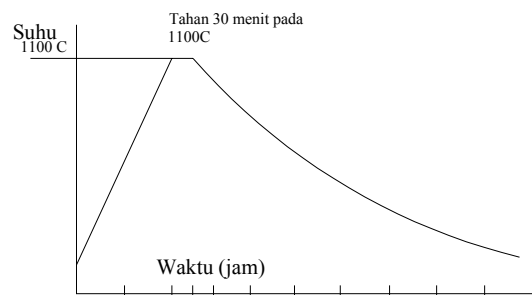
Sedangkan tegangan tarik (δ) karena pembelahan (*cleavage*) pada kekuatan sambungan adalah :

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad (6)$$

dengan P adalah gaya tarik yang mengakibatkan pembelahan, A adalah luas area penyambungan.

METODE PENELITIAN

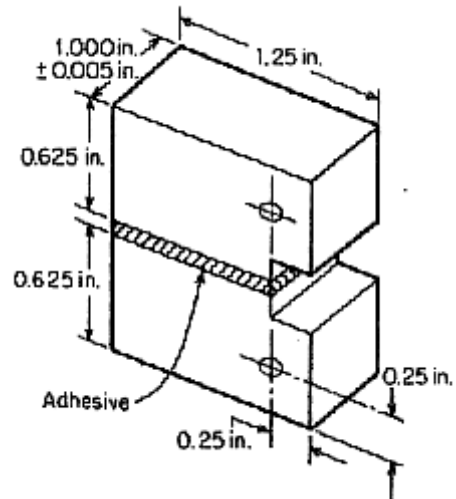
Perekatan brazing dilakukan dengan menggunakan jenis filler sesuai pada Tabel 1 yaitu Tembaga. Kondisi variabel ketiga jenis proses brazing dapat dilihat pada Tabel 1. Brazing pada filler Tembaga proses penyambungannya diberi tekanan 1,7 MPa (Bryden, 2001) di dalam jig. Jig beserta dengan spesimen dipanaskan pada furnace dengan variasi suhu 1000°C, 1050°C, 1100°C ditahan selama 30 menit (Wimpenny, 2003) dan didinginkan perlahan di dalam furnace (lihat Gambar 10). Setiap variasi suhu digunakan spesimen sebanyak 5 buah, kemudian dilakukan pengujian tarik, geser dan belah.



Gambar 6 Grafik perlakuan brazing Tembaga 1100° C dalam furnace

Tabel 1 Variabel perekatan brazing

	Jenis <i>Filler</i>
	Tembaga
Suhu (°C) pemanasan	1000, 1050, 1100
Waktu tahan	30 menit
Tebal <i>filler</i>	0,17 mm
Tekanan pres	1,7 MPa
Metode penghalusan permukaan	Kertas gosok ukuran 120 - 1000



Gambar 8 Bentuk spesimen uji belah (cleavage) ASTM D1062 (Harper, 1996)

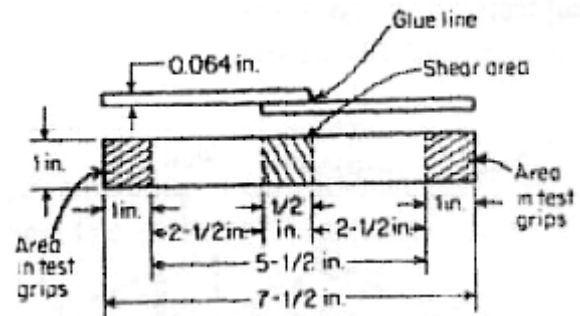
BAHAN DAN SPESIMEN

1. Bahan

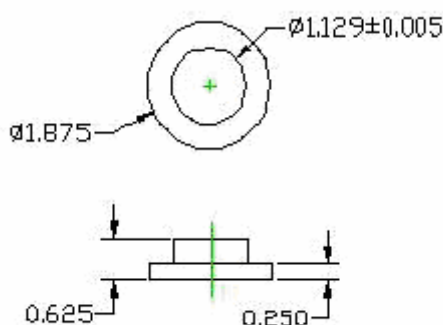
Material yang digunakan sebagai basis laminasi menggunakan *mild steel* dengan ukuran sesuai Gambar 7, Gambar 8, Gambar 9. Hasil uji komposisi kimia pada material adalah 98,52 Fe, 0,473 C, 0,55 Mn, 0,232 Si. Bahan perekat (*filler*) yang digunakan adalah tembaga dengan komposisi 99%.

2. Spesimen

Pembentukan spesimen untuk uji tarik mengacu pada standart ASTM D897 dengan bentuk sesuai Gambar 7, untuk uji belah (*cleavage*) mengacu pada standart ASTM D1062 dengan bentuk sesuai Gambar 8, untuk uji geser sesuai dengan standart ASTM D1002 sesuai dengan Gambar 9. Standar uji ini mengacu pada pengujian *adhesive bonding* karena akan dibandingkan dengan hasil pengujian penyambungan lem epoxy.



Gambar 9 Bentuk spesimen uji geser ASTM D1002 (Harper, 1996)



Gambar 7 Bentuk spesimen uji tarik ASTM D897 (Material Testing Technology Co, 2003.)

3. Alat Penelitian

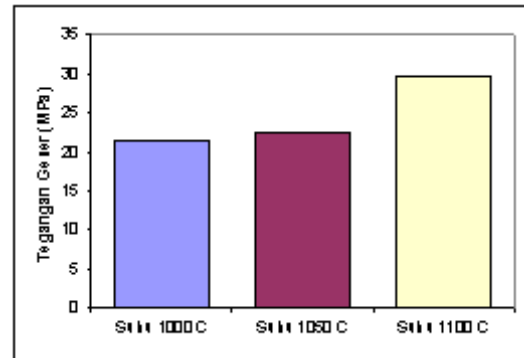
Penelitian dilakukan dengan menggunakan peralatan :

1. *Universal Testing Machine* merk Shimadzu Servo Pulser kapasitas 20 ton di Laboratorium Teknik Mesin UGM
2. *Furnace* merk Thermolyne dengan suhu maksimum 1400°C di Laboratorium Teknik Kimia UMS
3. Alat pres & jig buatan sendiri
4. Torsi meter merk Britool kapasitas 70 N/m digunakan untuk mengatur tekanan pada jig

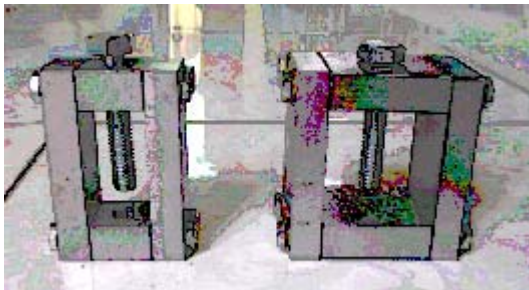


Gambar 10 Furnace

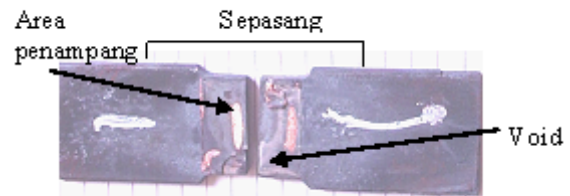
bahwa semakin tinggi suhu akan didapatkan luas penampang bidang kontak semakin besar.



Gambar 12 Diagram batang pengujian geser brazing



Gambar 11 Jig



Gambar 13 Penampang uji geser suhu 1000C

HASIL PENELITIAN

1. Pengujian Geser

Hasil pengujian geser metode brazing dapat dilihat di Gambar 12. Hasil pengujian geser brazing filler Tembaga lokal suhu furnace 1000°C sebesar 21,39 MPa, suhu 1050°C sebesar 22,56 MPa, dan suhu 1100°C sebesar 29,61 MPa. Hasil Patahan berupa patah getas. Pada pengujian ini didapatkan hasil tertinggi pada filler Tembaga pada suhu 1100°C dengan kekuatan sebesar 29,61 MPa. Bryden (2001) melakukan laminasi mild steel ketebalan 1,6 mm dengan filler Ag 56, Cu 22, Zn 17, Sn 5% pada 720°C didapatkan kekuatan geser sebesar 28,75 MPa.

Bentuk penampang potong pada Gambar 13, 14, dan 15 setelah pengujian, terdapat perbedaan luas penampang potong. Pada Gambar 15 luas bidang penampang lebih besar dari gambar sebelumnya, hal ini menunjukkan



Gambar 14 Penampang uji geser suhu 1050

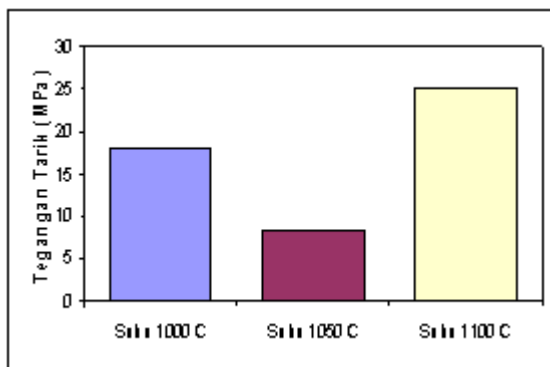


Gambar 15 Penampang geser suhu 1100°C

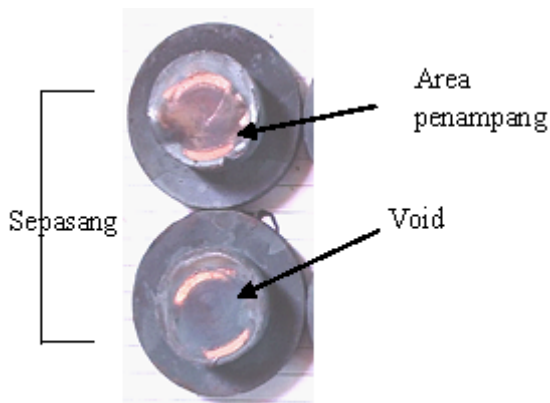
2. Pengujian Tarik

Hasil pengujian tarik metode brazing dapat dilihat di Gambar 16. Hasil pengujian tarik brazing *filler* Tembaga lokal suhu *furnace* 1000°C sebesar 17,91 MPa, suhu 1050°C sebesar 8,4 MPa, dan suhu 1100°C sebesar 25,16 MPa.

Pengujian tarik brazing Tembaga didapatkan hasil tertinggi pada variasi suhu 1100°C, terdapat penurunan yang signifikan antara hasil pada suhu 1000°C dan 1050°C. Penurunan ini dapat disebabkan oleh bidang kontak permukaan yang tidak rata antara *filler* dan logam induk.

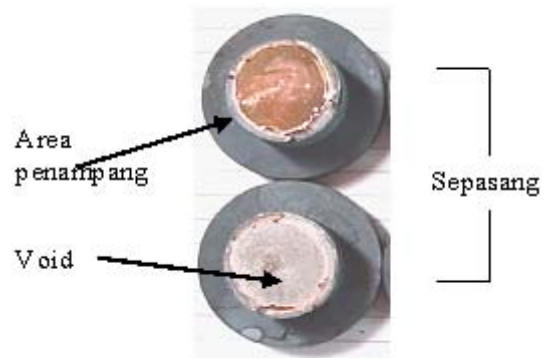


Gambar 16 Diagram batang pengujian tarik brazing

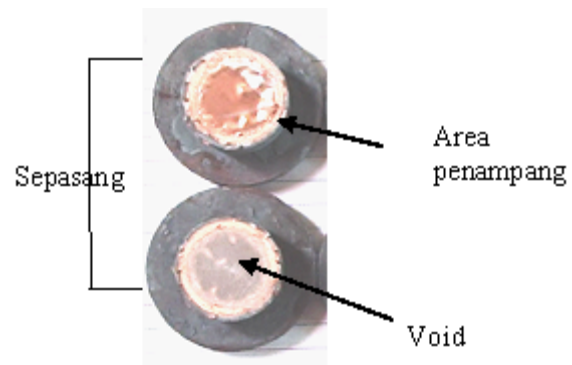


Gambar 17
Penampang uji tarik suhu 1000 °C

Penampang potong pada Gambar 4.19, setelah dilakukan pengujian pada suhu 1100°C terlihat bahwa luas bidang potong lebih besar dari yang lainnya. Gambar 17 penampang potong



Gambar 18
Penampang uji tarik suhu 1050 °C



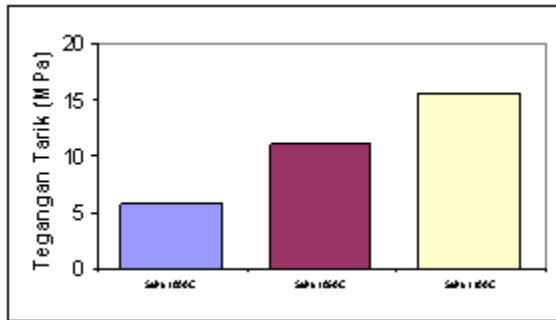
Gambar 19
Penampang uji tarik suhu 1100 °C

dari yang lainnya. Gambar 17 penampang potong suhu 1000° C lebih besar dibandingkan suhu 1050°C yang diikuti pula dengan naiknya kekuatan tariknya, hal ini dapat disebabkan masalah kerataan permukaan.

3. Pengujian Belah (*Cleavage*)

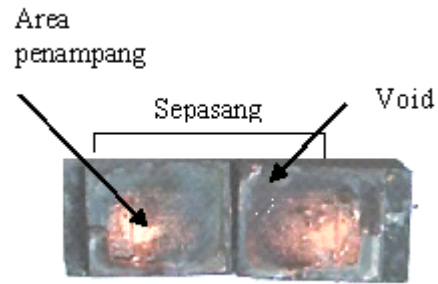
Hasil pengujian belah metode brazing dapat dilihat di Gambar 20. Hasil pengujian belah brazing *filler* Tembaga lokal suhu *furnace* 1000°C sebesar 5,75 MPa, suhu 1050°C sebesar 11,05 MPa, dan suhu 1100°C sebesar 15,67 MPa. Hasil patahan berupa patah getas.

Pengujian belah dengan *filler* Tembaga didapatkan hasil tertinggi pada suhu 1100°C sebesar 15,6 MPa (pada Gambar 20). Nilai kekuatan brazing *filler* Tembaga naik seiring dengan naiknya suhu pada *furnace* proses brazing.

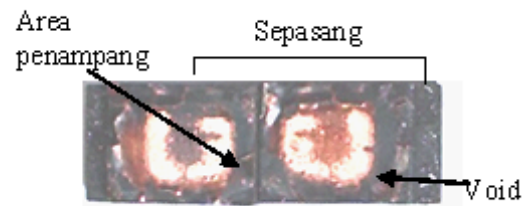


Gambar 20 Diagram batang pengujian belah brazing

Penampang uji belah dapat dicermati pada Gambar 21, Gambar 22, Gambar 23. Disini terdapat perbedaan luas area kontak permukaan pada variasi berbagai suhu. Pada suhu 1000°C kontak permukaan lebih kecil dibandingkan dengan suhu 1100°C yang mempunyai luas bidang kontak yang lebih besar.



Gambar 22
Penampang uji belah suhu 1050°C



Gambar 23
Penampang uji belah suhu 1100°C



Penampang uji belah suhu 1000°C

KESIMPULAN

Kekuatan mekanis pada sambungan baja dengan baja menggunakan tembaga sebagai logam perantara didapatkan pengaruh suhu terhadap kekuatan sambungan, semakin tinggi suhu brazing akan semakin kuat sambungannya. Suhu maksimum proses brazing sampai 1100°C.

DAFTAR PUSTAKA

- Bryden, B.G., Pashby, I.R., 2001, Hot Platen Brazing to Produce Laminated Steel Tooling, *Journal of Material Processing Technology* 110 206-210
- Bryden, B.G., Pashby, I.R., Wimpenny, D.I., Adams, C., 2000, Laminated Steel Tooling in Aerospace Industry, *Material and Design* 21 403-408
- De Garmo, P., Black, J.T., Kohser, R.A., 1984, *Materials and Processes in Manufacture*, Seventh Edition, Maxwell Macmillan
- Himmer, T., Nakagawa, T., Anzai, M., 1999, Lamination of Metal Sheets, *Computer in Industry* 39 27-33
- Mueller, B. dan Kochan, D., 1999, Laminated Object Manufacturing for Rapid Tooling and Pattermaking in Foundry Industry, *Computers in Industry* 39 47-53

- Muller, H. dan Sladojevic, J. 2001, Rapid tooling approaches for Small lot Production of Sheet metal parts, *Journal of Material Processing Technology* 115 97-103
- Rabinkin, A., Wenski, E., Ribaud, A., 1998, Brazing Stainless Steel Using a New MBF-Series of Ni-Cr-B-Si Amorphous Brazing Foils, *Welding Reseach Supplement*, P 66s-75s.
- Wimpenny, D.I., Bryden, B., Pashby, I.R., 2003, Rapid Laminated Tooling, *Journal of Material Processing Technology* 138 214-218
- Ashby M., Shercliff H., Cebon D., 2007, *Material Engineering Science Processing and Design*, Butterwoth-Heinemann, UK
- Callister W.D., 2007, *Material Science & Engineering*, Seventh Edition, John Willey & Sons
- Yoon S. H., Na S.J., 2003, Rapid Lamination Tooling by Brazing & Soldering Process, *Journal Of Manufacturing Process*, Volume 5 No 2