

Perbandingan Produktivitas Sambungan Adhesive Bonding Dengan Sambungan Las

Artono Raharjo

Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Islam Malang
Jl. MayJend. Haryono 193, Malang 65144
Indonesia

E-mail : artonor@yahoo.com

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk memberikan penekanan terhadap perbedaan biaya produksi yang dibutuhkan dalam penyambungan logam aluminium dengan menggunakan pengelasan dibandingkan dengan penyambungan dengan menggunakan *adhesive bonding*. Diharapkan dengan penelitian ini diharapkan penggunaan penyambungan aluminium dengan menggunakan *adhesive bonding* di daerah-daerah yang tidak mengalami pembebanan besar, akan dipergunakan secara lebih luas.

Pada penelitian ini parameter yang digunakan untuk membandingkan biaya produksi dari kedua macam jenis penyambungan tersebut adalah biaya *consumables* dan jam orang yang dibutuhkan pada kedua jenis penyambungan tersebut.

Hasil penelitian ini menunjukkan perbedaan produktivitas yang sangat besar dimana biaya produksi penyambungan dengan menggunakan *adhesive bonding* hanyalah sebesar 5,2% dari biaya produksi penyambungan dengan menggunakan pengelasan.

Kata Kunci : produktivitas, biaya

1. Pendahuluan

Membandingkan penyambungan pelat aluminium tipis dengan menggunakan pengelasan, dan dengan menggunakan *adhesive bonding*, masing-masing akan memiliki kelebihan dan kekurangan. Pada satu sisi penyambungan dengan menggunakan pengelasan akan memiliki kekuatan yang lebih besar dibandingkan dengan penyambungan dengan *adhesive bonding*. Namun disisi yang lain penyambungan dengan pengelasan ini juga membutuhkan tingkat kesulitan dan biaya produksi yang lebih tinggi.

Sebagai contoh disini, bila kita melihat waktu pengerjaan persatuan panjang penyambungan, maka waktu yang dibutuhkan untuk melakukan penyambungan dengan menggunakan *adhesive bonding* adalah lebih lama dari pada waktu yang dibutuhkan untuk melakukan penyambungan dengan pengelasan. Hal ini dikarenakan pada penyambungan dengan menggunakan *adhesive bonding* membutuhkan *curing time* (waktu yang dibutuhkan oleh zat *adhesive* untuk mengering dan mendapatkan kekuatan ikat yang maksimum) selama ± 3 jam, di luar waktu pengerjaan penyambungan itu sendiri.

Tetapi bila yang dihitung adalah total panjang sambungan yang dapat dikerjakan dalam satu hari kerja maka sambungan yang dapat dikerjakan dengan menggunakan *adhesive*

bonding adalah lebih banyak dari pada sambungan yang dapat dikerjakan dengan pengelasan. Hal ini dikarenakan waktu pengerjaan sambungan dengan menggunakan *adhesive bonding* itu sendiri adalah jauh lebih singkat dari pada waktu pengerjaan sambungan dengan pengelasan, sehingga sambil menunggu *curing time* dari satu sambungan, pekerja dapat mengerjakan sambungan yang berikutnya.

Meskipun demikian pada praktek dilapangan penggunaan sambungan *adhesive bonding* masih sangat sedikit. Oleh karena itu penulis berharap dengan penelitian ini akan dapat memperluas penggunaan sambungan dengan *adhesive bonding*, khususnya untuk sambungan pelat tipis yang menerima beban tidak besar.

2. Metodologi Penelitian

Penelitian ini menggunakan data dari PT. PAL Indonesia pada tahun produksi 2004/2005. Parameter pembandingan yang digunakan sebagai perbandingan produktivitas adalah biaya *consumables* dan jam orang yang digunakan untuk masing-masing pengerjaan penyambungan.

Biaya sambungan pengelasan dihitung berdasarkan WPS untuk pengelasan pelat Al pada PT. PAL Indonesia, biaya jam orang adalah berdasarkan tarif welder bersertifikasi

untuk pengelasan TIG/MIG untuk pengerjaan sambungan pengelasan dan tarif *unskilled labour* untuk pengerjaan sambungan dengan *adhesive bonding* yang berlaku pada PT. PAL Indonesia.

3. Pembahasan

Sebelum kita bahas mengenai produktivitas kedua jenis sambungan ini, terlebih dahulu akan kita tinjau secara singkat mengenai karakteristik masing-masing sambungan tersebut.

3.1. Adhesive Bonding

Adhesive bonding adalah suatu proses untuk merekatkan dua buah permukaan menjadi satu dengan bantuan zat adhesive.

Keuntungan dari penggunaan adhesive bonding ini adalah :

- Tidak memerlukan lubang-lubang seperti yang diperlukan pada penyambungan dengan baut dan paku keling. Oleh karena itu penggunaan adhesive bonding ini akan memberikan distribusi tegangan yang lebih merata, tanpa adanya konsentrasi tegangan yang disebabkan oleh adanya lubang-lubang tersebut.
- Pemakaian masukan energi yang rendah pada waktu penyambungan, sehingga tidak akan menyebabkan terjadinya distorsi pada material yang akan disambung.
- Penggunaan adhesive bonding dalam banyak kasus akan memberikan berat sambungan yang lebih ringan dibandingkan jenis sambungan dengan paku keling, baut atau pengelasan.
- Permukaan luar yang halus dapat diperoleh dengan mudah.
- Dapat mencegah terjadinya kontak langsung antara dua material yang disambung, sehingga dapat mencegah atau mengurangi resiko terjadinya korosi galvanis pada dua macam logam yang berbeda.
- Dapat berfungsi sebagai sealant pada sambungan.
- Dapat berfungsi sebagai peredam getaran.
- Dapat mengurangi biaya produksi melalui disain sambungan yang lebih sederhana, proses penyambungan yang lebih mudah, peralatan yang lebih sederhana dan tidak membutuhkan tenaga kerja dengan keahlian khusus/keterampilan tinggi.

Sedangkan kekurangan dari penyambungan logam dengan menggunakan adhesive bonding ini adalah :

- Memerlukan perlakuan permukaan sebelum material dapat disambung.
- Mempunyai ketahanan yang rendah terhadap temperatur tinggi dan api.

- Ketahanan yang terbatas terhadap beban impact.
- Kekuatan sambungan yang relatif rendah bila dibandingkan dengan sambungan dengan menggunakan pengelasan.
- Belum tersedia data mengenai ketahanan dan pengaruh-pengaruh lainnya pada pemakaian dalam jangka panjang.

Penyambungan pelat alumunium tipis dengan pengelasan adalah termasuk pekerjaan dengan tingkat kesulitan yang tinggi, pengelasan yang digunakan biasanya adalah TIG/MIG yang membutuhkan welder yang bersertifikasi untuk melakukan pengelasan ini. Selain itu pengelasan pelat tipis itu sendiri juga bukanlah pekerjaan yang mudah, karena resiko terjadinya deformasi paska proses pengelasan adalah besar, sehingga seringkali dibutuhkan tindakan perbaikan untuk meluruskan deformasi yang terjadi. Hal ini menyebabkan biaya produksi untuk sambungan ini menjadi tinggi. Di sisi lain pelat alumunium tipis bukanlah material yang digunakan untuk menahan beban besar, sehingga penggunaan penyambungannya dengan pengelasan dapat disubstitusi dengan cara lain yang lebih murah, meskipun kekuatan sambungannya menjadi menurun. Dalam hal ini penyambungan dengan menggunakan *adhesive bonding* dapat menjadi solusi yang tepat.

3.2. Prinsip Kerja Adhesive Bonding.

Mekanisme kerja dari *adhesive bonding* ini adalah sebagai berikut^(1,5,10), mula-mula bagian yang akan disambung dibersihkan dari debu, lemak atau kotoran-kotoran lainnya. Kemudian pada kedua permukaan benda kerja ini disapukan lem atau *adhesive*, pada awalnya *adhesive* yang masih berupa cairan ini harus mampu membasahi (*wetting*) kedua permukaan yang akan disambung, dia harus mampu untuk mengisi setiap rongga pada permukaan benda yang akan disambung, (oleh karena itu persiapan permukaan benda yang akan disambung merupakan proses penting dalam penyambungan dengan menggunakan *adhesive bonding* karena dengan adanya kotoran-kotoran seperti debu, lemak dll, kotoran-kotoran tersebut akan menghalangi terjadinya pembasahan, sehingga tidak seluruh permukaan benda kerja terkena *adhesive* yang masih dalam bentuk cair tersebut). Dalam keadaan cair ini kekuatan ikatan dari *adhesive* masih belum terbentuk, oleh karena itu dibutuhkan pemegang (*jig*) untuk menahan posisi sambungan selama proses *curing*. Setelah itu dengan melalui reaksi kimia (dapat dibantu

dengan pemanasan) maka *adhesive* akan berubah menjadi padat (proses *curing*). Setelah *adhesive* ini mengeras maka kekuatan ikatannya akan berfungsi.

3.3. Persiapan Permukaan.

Persiapan permukaan⁽⁵⁾ untuk membersihkan permukaan benda kerja yang akan direkatkan harus dilakukan karena biasanya permukaan benda cenderung terkontaminasi oleh material-material yang dapat mempengaruhi efektifitas dari adhesive bonding ini, seperti debu, minyak, lemak ataupun kotoran lainnya. Tergantung dari material yang akan direkatkan maka persiapan permukaan yang biasa dilakukan adalah :

- *Degrease only*
- *Degrease, abrade and remove loose particles*
- *Degrease and chemically pretreat*

Sebagai catatan disini, untuk material Aluminium persiapan permukaan dengan menggunakan cara-cara yang bersifat abrasif sebaiknya tidak dilakukan. Kontaminasi dapat terjadi karena tersentuh jari tangan, oleh kain lap yang tidak bersih, gram dari pembersihan dengan metode abrasif ataupun dari larutan kimia yang digunakan sebagai pelarut dalam persiapan permukaan. Oleh karena itu sebaiknya proses perekatan ini dilakukan segera setelah proses persiapan permukaan selesai dilakukan.

3.4. Macam-Macam Adhesive

Macam-macam dari tipe adhesive⁽¹⁾ ini adalah :

1. Epoxy
2. Acrylic
3. Poly Urethane (PU)
4. Cyanoacrylate

Perbandingan dari keempat macam adhesive ini dapat dilihat di tabel 3.1⁽¹⁾ dan tabel 3.2⁽¹⁾.

Tabel 3.1. Perbandingan Jenis Adhesive

Property	Ranking			
	1	2	3	4
Durability	Epoxies	Acrylics	PU	Cyanoacrilates
Curing speed	Cyanoacrilates	Acrylics	PU	Epoxies
Thermal resistance	Epoxies	PU	Acrylics	Cyanoacrilates
Low temp. resistance	PU	Epoxies	Acrylics	Cyanoacrilates

*1 lebih baik 4 lebih buruk

Tabel 3.2. Perbandingan dari Karakteristik Umum dari Jenis-Jenis Adhesive

Adhesive Type	Toughened Acrylics	Two Parts Tough Epoxy	Poly Urethane	Toughened Single Part Epoxy
Toxicity	low	low	high	low
Capital cost of equipment	low	high	high	low - medium
Process complexity	low	medium	high	low
How cured	cold	hot or cold	cold-warm	hot
Ventilation	yes	yes	yes	Yes

Shortest cure time practical (minutes)	0,3	10	2	1
Shear strength	high	medium	medium	very high
Peel strength	high	medium	medium	high
Impact strength	very high	medium	medium	extremely high
Gap fill	good	good	good	Good
Environmental resistance	very good	good	medium	excellent

4.1. Perbandingan Biaya Produksi Sambungan Las Dengan Sambungan Overlap Adhesive Bonding.

4.1.1. Sambungan Pengelasan

Untuk menghitung biaya pengelasan yang dibutuhkan digunakan rumus sebagai berikut⁽¹⁸⁾ :

$A/C + FD + L/RG = \text{Total labor and material cost per pound of deposited weld metal.}$

Dimana :

A = Price per pound of electrode or wire

F = Price per pound of flux

C = Deposition efficiency (%)

D = Pounds of flux used per pound of metal deposited

L = Cost of labor and overhead

R = Deposition rate in pounds per hour

G = % Arc time (operating factor)

Proses pengelasan yang digunakan adalah proses pengelasan Aluminium yang dilakukan di PT. PAL Indonesia, dan data JO beserta tarif welder juga didasarkan pada data dari PT. PAL Indonesia, dengan detail sebagai berikut :

Company's Name : PT. PAL Indonesia (PERSERO)
WPS no. : 119
Joint Type : Butt Weld
Reference Code : BKI Rules Vol. VI
Welding Process : Combination MIG – TIG

Joints

Joint Design : V Groove (CJP)

Backing : None

Backing Material : None

Base Metals

Specification : E5.45/Al Mg4,5 Mn/ 5083

Plate Thickness : 6 mm

Plate Thickness Range : 3 ~ 12 mm

Preheat Temp. : None

Interpass Temp. : 40 ~ 65°C

PWHT : None

Position

Position : 2 G (Horizontal)

Welding Progression : See joint detail

Current Type : DC+ (MIG)

AC (TIG)

Filler Metal

Classification : AWS.A5.10ER 5183 (TIG/MIG)

Trade Name : SAFRA

Wire Size : ϕ 1,2 (MIG) & ϕ 3,2 (TIG)

Technique

String/Weave : Weaving

Single/Multipass : Multipass

Single/Multi Elec. : Multi Elec.

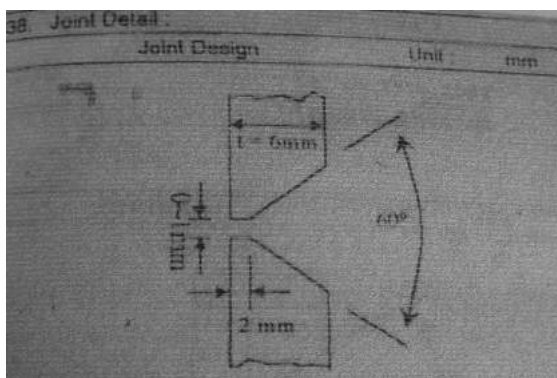
Interpass Cleaning : Brushing

Back Cleaning : Grinding + Brushing

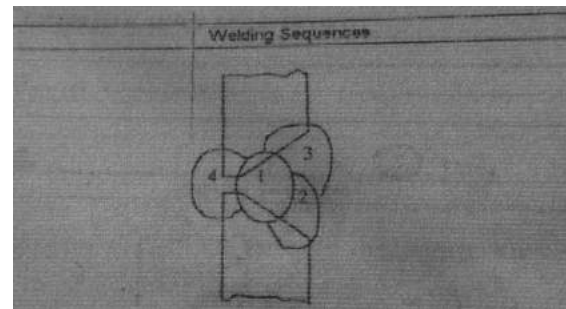
Gas

Shielding Gas : Argon

Flow Rate : 20 lt/minute



Gambar 4.1. Join Detail



Gambar 4.2. Welding Sequence

Tabel 4.1. Welding Detail

Run	Process	Size of Filler Metal	Current (A)	Voltage (V)	Type of current polarity	Travel Speed (mm/minute)	Heat Input (kJ/mm/hour)
1	MIG	ϕ 1,2 mm	115-150	15-25	DC+	200-400	0,25-1,12
2	MIG	ϕ 1,2 mm	115-150	15-25	DC+	200-400	0,25-1,12
3	MIG	ϕ 1,2 mm	115-150	15-25	DC+	200-400	0,25-1,12
Back Grinding + Brushing							
4	TIG	ϕ 3,2 mm	160-200	15-25	AC	35-70	1,9-8,5

Dari data wps diatas, maka waktu yang dibutuhkan untuk 1 m panjang pengelasan pelat Alumunium ini adalah 2,5 ~ 5 menit untuk tiap-tiap passs pengelasan dengan MIG dan 14,3 ~ 28,6 menit untuk tiap-tiap pass pengelasan dengan TIG. Bila ditambahkan 15 menit untuk proses *back grinding* dan *brushing*, maka waktu total yang dibutuhkan untuk 1 m panjang pengelasan adalah 36,8 ~ 58,6 menit (belum terhitung waktu yang dibutuhkan untuk membuat V groove).

Consumables yang dibutuhkan :

1. Kawat Las

- Untuk pengelasan MIG adalah sebanyak 0,91~1,18 Kg/jam, atau untuk 1 m panjang pengelasan adalah sebanyak 0,038~0,076 Kg.

- Untuk pengelasan TIG adalah sebanyak 1,36~1,68 Kg/jam, atau untuk 1 m panjang pengelasan adalah sebanyak 0,324~0,648 Kg.

2. Gas Argon sebanyak 736~1172 lt.

Dari rumus pada 4.1.1. dan WPS dari proses pengelasan alumunium yang digunakan di PT. PAL Indonesia dan data JO pada proses pengelasan alumunium, maka kita akan mendapatkan untuk pengelasan MIG :

$$A = \text{Rp. } 200.000,-/\text{kg}$$

$$F = \text{Rp. } 175.000,-/\text{tabung} = \text{Rp. } 25,-/\text{lt}$$

$$C = 98\%^{(18)}$$

$$D = 20 \text{ lt/menit} = 1200 \text{ lt/jam}$$

$$L = 30 \text{ US\$/jam} = \text{Rp. } 270.000,-/\text{jam}$$

$$R = 2,0\sim 2,6 \text{ lb/jam}^{(18)} = 0,91\sim 1,18 \text{ Kg/jam}$$

$$G = 30\%^{(18)}$$

$$\begin{aligned} \text{Biaya pengelasan} &= A/C + FD + L/RG \\ &= 200.000/98\% + 25 \times 1200 \\ &\quad + 270.000/2 \times 30\% \\ &= \text{Rp. } 36.540,82 / \text{Kg} \end{aligned}$$

Sedangkan untuk pengelasan TIG :

$$A = \text{Rp. } 200.000,-/\text{kg}$$

$$F = \text{Rp. } 175.000,-/\text{tabung} = \text{Rp. } 25,-/\text{lt}$$

$$C = 98\%^{(18)}$$

$$D = 20 \text{ lt/menit} = 1200 \text{ lt/jam}$$

$$L = 30 \text{ US\$/jam} = \text{Rp. } 270.000,-/\text{jam}$$

$$R = 3,0\sim 3,7 \text{ lb/jam}^{(18)} = 1,36\sim 1,68 \text{ Kg/jam}$$

$$G = 30\%^{(18)}$$

$$\begin{aligned} \text{Biaya pengelasan} &= A/C + FD + L/RG \\ &= 200.000/98\% + 25 \times 1200 \\ &\quad + 270.000/3 \times 30\% \\ &= \text{Rp. } 35.040,82 / \text{kg} \end{aligned}$$

4.1.2. Sambungan Overlap Adhesive Bonding

Untuk menghitung biaya penyambungan pelat Alumunium dengan menggunakan *adhesive bonding*, karena belum tersedianya rumus perhitungan yang baku, maka perhitungannya dilakukan dengan mem *break down* proses pengerjaan yang harus dilakukan, dan menghitung banyaknya *consumables* yang dipergunakan dan waktu pengerjaan yang dibutuhkan dari masing-masing aktivitas.

Break down proses pengerjaan dari kedua macam sambungan ini dapat kita lihat pada tabel berikut ini.

Tabel 4.2. Perbandingan Biaya Produksi Sambungan Las Dengan Overlap Adhesive Bonding

Aktivitas	Consumables	Harga Persatuan (Rp)	Biaya Cons.(Rp)	JO	Biaya JO (Rp)	Total Biaya (Rp)
1. Pengelasan Al 5083						
Membuat Groove	-	-	-	10 mnt	45.000	45.000
Mengelas pass 1 dengan MIG	Kawat Las Gas Argon	200.000/kg 175.000/tabung	7.560 1.250	2,5 mnt	11.250	20.060
Brushing	-	-	-	2 mnt	9.000	9.000
Mengelas pass 2 dengan MIG	Kawat Las Gas Argon	200.000/kg 175.000/tabung	7.560 1.250	2,5 mnt	11.250	20.060
Brushing	-	-	-	2 mnt	9.000	9.000
Mengelas pass 3 dengan MIG	Kawat Las Gas Argon	200.000/kg 175.000/tabung	7.560 1.250	2,5 mnt	11.250	20.060
Brushing	-	-	-	2 mnt	9.000	9.000
Mengelas pass 4 dengan TIG	Kawat Las Gas Argon	200.000/kg 175.000/tabung	68.040 7.500	15 mnt	67.500	143.040
Brushing	-	-	-	2 mnt	9.000	9.000
Grinding	-	-	-	5 mnt	22.500	22.500
Total						306.720
2. Adhesive Bonding Al 5083						
Membuat alur 1/2 lingkaran	-	-	-	5 mnt	1.125	1.125
Degreasing	Aseton	24.000/ltr	6.000	5 mnt	1.125	7.125
Etching (bila perlu)	Sulphuric acid Sodium dichromate	-	-	30 mnt	6.750	-
Mixing Adhesive + Hardener	Adhesive + Hardener	68.000 /set kaleng	3.400	5 mnt	1.125	4.525
Mengkuaskan lem pada permukaan yang akan direkatkan	-	-	-	2 mnt	450	450
Merekatkan Pelat	-	-	-	2 mnt	450	450
Memasang clamp sepanjang alur pengeleman	-	-	-	5 mnt	1.125	1.125
Melepas clamp (setelah ± 3 jam)	-	-	-	5 mnt	1.125	1.125
Total						15.925

Dari tabel diatas dapat kita lihat bahwa biaya produksi permeter panjang sambungan untuk sambungan dengan menggunakan *adhesive bonding* hanyalah sekitar 5,2% dari biaya produksi sambungan pengelasan.

Kesimpulan dan Saran

1. Penggunaan adhesive bonding pada penyambungan pelat Al 5083 dengan ketebalan pelat 6 mm, memberikan biaya produksi yang lebih ekonomis dari pada penyambungan pelat sejenis dengan

- menggunakan pengelasan, yaitu dengan biaya produksi 5,2% biaya produksi penyambungan dengan pengelasan.
2. Perbedaan terbesar adalah diakibatkan oleh biaya tenaga kerja yang dibutuhkan, karena penyambungan logam Aluminium dengan pengelasan membutuhkan tenaga kerja dengan spesifikasi keterampilan yang tinggi (harus mempunyai sertifikasi pengelasan dengan MIG/TIG) sedangkan untuk penyambungan dengan *adhesive bonding* tenaga kerja yang dibutuhkan adalah dari kategori *unskilled labour*.
 3. Penggunaan penyambungan dengan adhesive bonding tidak dianjurkan untuk bagian-bagian dari struktur yang menerima pembebanan yang tinggi, karena bagaimanapun juga sampai saat ini kekuatan penyambungan dengan pengelasan masih memberikan hasil yang lebih baik.
12. **Mechanical Metallurgy.** George E. Dieter. 3rd ed. 1986. McGraw-Hill, Inc.
 13. **How to Calculate Total Labor & Material Cost per Pound of Deposited Weld Metal.** Postle Industries Inc. WWW.Postle.com.

Daftar Pustaka

1. **Adhesive Concepts and Types of Structural Adhesive.** K.A. Hodd, Brunel University.
2. **A Structural Role For Adhesive In Shipbuilding.** S.A. Hashim, I.E. Winkle and M.J. Cowling, The Royal Institution of Naval Architects, Spring Meeting 1989.
3. **Adhesive Metal Bonding No Longer Stuck With Past Prejudices.** G. McGrath, Welding and Metal Fabrication, October 1999.
4. **Repair of Aircraft Using Adhesive Bonding.** L.C. Cook, The Welding Institute, The Welding Institute Bulletin Vol. 29, September/October 1988.
5. **User's Guide for Adhesive Bonding.** CIBA Composites, July 1993.
6. **Testing and Evaluation of Adhesives and Bonded Products.** Douglas J. Gardner. 1994.
7. **ASTM D 1002 – 72 Standard Test Method for Strength Properties of Adhesive in Shear by Tension Loading (Metal to Metal)**
8. **ASTM D 907 – 88 Standard Terminology of Adhesives.**
9. **Material Science and Engineering.** William D. Callister, Jr. Department of Material Science and Engineering, University of Utah, 2nd ed. John Wiley & Sons, Inc.
10. **Machine Design,** T.V. Sundararaja Moorthy & N. Shanmugam. 5th ed. 1983,
11. **Mekanika Teknik.** E.P. Popov, 2nd ed. 1978. Penerbit Erlangga.