

**PENGARUH TEMPERATUR PADA PENGELASAN DIFUSI
LOGAM LAS TAK SEJENIS ANTARA ALUMINIUM
DAN BAJA DENGAN METODE *THERMAL SPRAY***

TESIS

**Disusun untuk memenuhi sebagai persyaratan mencapai derajat magister
Program Studi Teknik Mesin**



Oleh:

ZUHRI NURISNA

NIM. S951408006

**PROGRAM PASCASARJANA
UNIVERSITAS SEBELAS MARET**

SURAKARTA
commit to user
2016

PENGARUH TEMPERATUR PADA PENGELASAN DIFUSI

LOGAM LAS TAK SEJENIS ANTARA ALUMINUM

PENGARUH TEMPERATUR PADA PENGELASAN DIFUSI

LOGAM LAS TAK SEJENIS ANTARA ALUMINUM

DAN BAJA DENGAN METODE *THERMAL SPRAY*

TESIS

Disusun oleh:

Zehrona
S951408000

Tim Penguji

Jabatan Nama Tanda Tangan Tanggal

Ketua Prof. Dr. Kusnoro Diharjo S.P., M.T. NIP. 19710103197021001 12-5-2016

Sekretaris Dr. Nurul Mubhayat S.T., M.T. NIP. 197003231998021001 13/5 2016

Anggota Dr. Triyono S.T., M.T. NIP. 197406251999031002 16/5-16

Anggota Dr. Agus Supriyanto S.Si, M.Si. NIP. 196908261999031001 13/5 2016

Telah dipertahankan di depan penguji

Dan dinyatakan telah memenuhi syarat

Pada tanggal 3 Mei 2016



Direktur
Program Pascasarjana UNS

Prof. Dr. M. Furqon Hidayatullah M.Pd.
NIP. 196007271987021001

Ketua Program Studi Teknik Mesin
Program Pascasarjana UNS

Dr. Triyono ST., MT.
NIP. 197406251999031002

commit to user

DAN BAJA DENGAN METODE *THERMAL SPRAY***TESIS****Disusun oleh:****Zuhri Nurisna****S951408006**

Tim Penguji			
Jabatan	Nama	Tanda Tangan	Tanggal
Ketua	Prof. Dr. Kuncoro Diharjo S.T., M.T. NIP. 197101031997021001
Sekretaris	Dr. Nurul Muhayat S.T., M.T. NIP. 197003231998021001
Anggota	Dr. Triyono S.T., M.T. NIP. 197406251999031002
Anggota	Dr. Agus Supriyanto S.Si, M.Si. NIP. 196908261999031001

Telah dipertahankan di depan penguji**Dan dinyatakan telah memenuhi syarat****Pada tanggal 3 Mei 2016**

Direktur
Program Pascasarjana UNS

Ketua Program Studi Teknik Mesin
Program Pascasarjana UNS

Prof. Dr. M. Furqon Hidayatullah M.Pd.

NIP. 196007271987021001

Dr. Triyono ST., MT.

NIP. 197406251999031002

PERNYATAAN PUBLIKASI DAN KEASLIAN

Kami menyatakan bahwa:

commit to user

1. Tesis berjudul: "**Pengaruh Temperatur Pada Pengelasan Difusi Logam Las Tak Sejenis Antara Aluminium Dan Baja Dengan Metode *Thermal Spray***"

adalah pekerjaan saya dan bebas dari plagiarisme, dan tidak ada karya ilmiah yang telah diminta oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik dan tidak ada pekerjaan atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain kecuali secara tertulis yang digunakan sebagai acuan dalam teks ini dan sumber referensi serta disebutkan dalam daftar pustaka. Jika di kemudian terbukti ada plagiarisme dalam makalah ilmiah, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan ketentuan peraturan perundang-undangan (Permendiknas No 17, Tahun 2010).

2. Publikasi beberapa atau semua isi Tesis atau karya ilmiah lainnya dan izin harus menyertakan penulis dan tim sebagai pengawas. Jika dalam setidaknya satu semester (enam bulan setelah pemeriksaan tesis) saya tidak membuat publikasi sebagian atau seluruh tesis ini, Program di Teknik Mesin UNS memiliki hak untuk mempublikasikan dalam jurnal ilmiah yang diterbitkan oleh Program Studi di Teknik Mesin UNS. Jika saya melanggar dari ketentuan publikasi ini, maka saya bersedia untuk mendapatkan sanksi akademis.

Surakarta, Mei 2015

Penulis,

Zuhri Nurisna

NIM. S951408006

Zuhri Nurisna, S951408006, 2016. **Pengaruh Temperatur Pada Pengelasan Difusi Logam Las Tak Sejenis Antara Aluminium Dan Baja Dengan Metode *Thermal Spray***. TESIS. Pembimbing: I. Dr. Triyono, ST.,MT. Pembimbing II : Dr. Agus Supriyanto S.Si.,M.Si. Program Studi Teknik Mesin, Program Pasca Sarjana, Universitas Sebelas Maret Surakarta.

ABSTRAK

Perbedaan sifat fisik dan mekanik antara aluminium dan baja merupakan masalah besar dalam proses pengelasan material beda jenis, terlebih lagi perbedaan titik lebur yang jauh berbeda menyebabkan material tidak mudah fusi pada daerah las. Selain itu senyawa intermetalik (IMC) yang keras dan rapuh selalu terbentuk pada *interface* antara aluminium dan baja. Dalam penelitian ini, terbentuknya IMC Fe-Al pada pengelasan antara aluminium dan baja dapat dihindarkan dengan penambahan *interlayer* nikel.

Spesimen aluminium dan baja disambung dengan metode difusi menggunakan *hot press*. Penambahan *interlayer* Ni diberikan pada permukaan baja dengan metode *thermal spray* dengan variasi ketebalan *interlayer* dari 0,2 mm sampai 1,0 mm dan temperatur pengelasan difusi yaitu dari 500°C sampai 550°C. Perlakuan ketebalan *interlayer* dan temperatur pengelasan yang berbeda ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh IMC yang terbentuk selama proses pengelasan difusi. IMC yang terbentuk diteliti menggunakan *scanning microscope electron* dengan tambahan EDX.

Ketebalan lapisan IMC yang terbentuk meningkat dengan meningkatnya temperatur pengelasan difusi. IMC yang dihasilkan terdiri dari dua jenis IMC yang berbeda. Al_3Ni dominan terbentuk pada lapisan IMC yang pertama, selanjutnya ketika ketebalan lapisan IMC Al-Ni mencapai nilai kritis, terbentuknya IMC kedua yang dominan terbentuk Ni-Al. Kekuatan tarik geser tertinggi dihasilkan pada temperatur pengelasan 525°C. Sedangkan perlakuan ketebalan *interlayer* tidak memberikan pengaruh yang berbeda pada terbentuknya IMC. Kekerasan *interface* Ni-Al lebih tinggi daripada *interface* Fe-Ni, hal ini dikarenakan terbentuknya IMC pada *interface* Ni-Al.

Penambahan *interlayer* nikel ini telah sukses menghindarkan terbentuknya IMC Fe-Al secara langsung, daerah difusi yang terbentuk lebih kuat dan tidak rapuh sehingga dapat meningkatkan kekuatan sambungan baja dan aluminium.

Kata Kunci : *Difusi, Nickel interlayer, Thermal spray, Dissimilar metal*

Zuhri Nurisna, S951408006, 2016. *Effect of Temperature on the Properties of Diffusion Welding Fe-Al Dissimilar Metals with Ni Interlayer by Thermal Spray*. THESIS. Principal Advisor : Dr. Triyono, ST.,MT. Co-advisor : Dr. Agus Supriyanto S.Si., M.Si. The Graduate Program in Mechanical Engineering, Sebelas Maret University, Surakarta. *mmmit to user*

ABSTRACT

Joining of aluminum alloy to steel is a great challenge because of the large differences in thermo-physical properties between the two metals. Moreover, the differences of melting point causes the material is not easy to fusion at weld area. Furthermore, the formations of brittle Fe–Al intermetallic compounds (IMCs) at elevated temperatures has a detrimental effect on the mechanical properties, especially the tensile strength of the welded structures. In this study, the formations of IMC can be avoided by using nickel interlayer.

The aluminum and steel specimens were bonded by diffusion method using hot press. Nickel interlayer were added on steel surface by thermal spray method. The thickness of nickel interlayer were in range from 0.2 mm to 1.0 mm. The temperature of diffusion welding were in range from 500°C to 550°C. Two different treatment, interlayer thickness and temperature of diffusion welding, were conducted to investigate their effect on the IMC formation. The IMC was examined under scanning electron microscope with EDX attachment.

The thickness of the IMC layer increased with increasing temperature of diffusion welding. The IMC formation was formed two different types of IMC. Al₃Ni dominant formed on the first layer of IMC. When the thickness of Al₃Ni layer reaches a critical value, the formation of the next layer of IMC are dominant formed Ni-Al. The highest tensile shear strength is resulted at 525°C welding temperature. While the treatment of interlayer thickness are no affected on the formation of IMC. Hardness at Ni-Al interface higher than the Fe-Ni interface, this is due to the formation of IMC at Ni-Al interface.

The addition of the Ni interlayer succesfully to avoided the formation of Fe–Al intermetallic compounds. Diffusion area formed more powerful, so it can improve the tensile shear strength of steel and aluminum.

Key word : *Difusi, Nikel interlayer, Thermal spray, Disimilar metal*

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Allah subhanahu wata'ala atas nikmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian tesis dengan judul **“Pengaruh**

Temperatur pada Pengelasan Difusi Logam Las Tak Sejenis Antara Aluminium dan Baja dengan Metode *Thermal Spray*”.

Peyusunan tesis ini adalah salah satu persyaratan guna mencapai gelar Magister Teknik di Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret Surakarta. Penulis menghaturkan terima kasih yang sangat mendalam kepada semua pihak yang telah berpartisipasi dalam penelitian dan penulisan tesis ini, khususnya kepada:

1. Bapak Dr. Triyono ST., MT. selaku Ketua Program Studi Magister Teknik Mesin sekaligus pembimbing utama yang telah membimbing, mengarahkan dan memberikan banyak bantuan dalam penelitian dan penulisan tesis ini.
2. Bapak Dr. Agus Supriyanto, S.Si, M.Si. selaku pembimbing kedua yang memberikan bimbingan dengan baik dalam penelitian dan penulisan tesis ini.
3. Dosen-dosen Magister Teknik Mesin FT UNS yang telah membuka wacana keilmuan penulis.
4. Orang tuaku Bapak Rakino dan Ibu Suprapti yang senantiasa memberikan motivasi, doa, nasihat dan dukungan finansial.
5. Noerma Shovie Rizqiea yang selalu memberikan support, semangat dan menjadi sosok hebat dibelakang penulis.
6. Sulisty Mamin Widhiatmoko yang setia membantu penulis dalam penelitian.
7. Teman-teman Lab Material Teknik Mesin UNS yang telah membantu penulis dalam pengujian spesimen.
8. Berbagai pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu, atas bantuan dan dorongan semangat serta doanya, terima kasih.

Penulis menyadari, bahwa dalam tesis ini masih terdapat banyak kekurangan dan masih jauh dari sempurna. Saran dan kritik yang membangun senantiasa penulis harapkan dari berbagai pihak demi kesempurnaan tesis ini. Semoga tesis ini dapat memberikan kontribusi pada kemajuan ilmu pengetahuan.

Penulis



commit to user

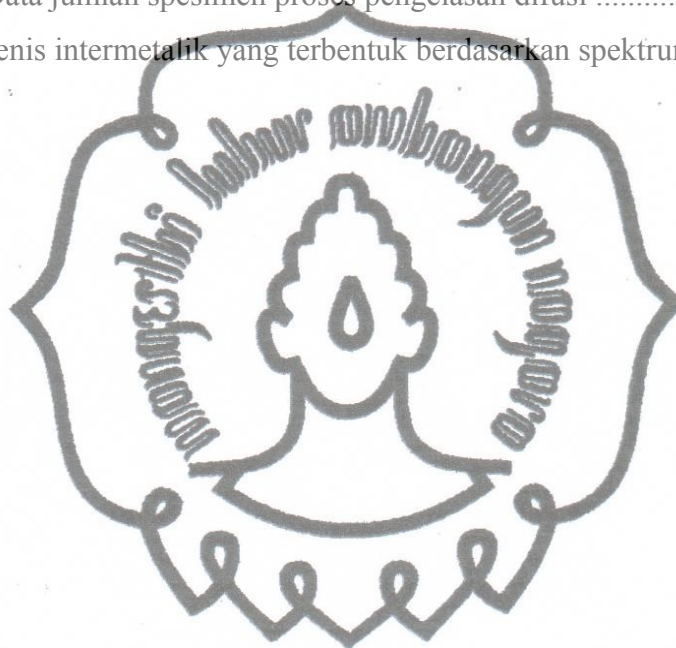
DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
.....	
HALAMAN PENGESAHAN	ii
SURAT PERNYATAAN	iv
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vi
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xii
BAB I. PENDAHULUAN	
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Perumusan Masalah	2
1.3. Batasan Masalah	3
1.4. Tujuan dan Manfaat	3
1.5. Manfaat Penulisan	4
BAB II. LANDASAN TEORI	
2.1. Tinjauan Pustaka	5
2.2. Dasar Teori	8
2.2.1. <i>Thermal Spray</i>	9
2.2.2. Difusi	10
2.2.3. Mekanisme Pengelasan Difusi.....	11
2.2.4. Pengelasan Difusi dengan Bantuan Interlayer.....	13
2.2.5. Aluminium Paduan 5083 (AA5083).....	13
2.2.6. Baja SS 400	15
2.2.7. <i>Intermetallic Compound (IMC)</i>	16
2.3. Dasar-Dasar Pengujian Spesimen	17
2.3.1. Pengujian Tarik.....	17
2.3.2. Pengujian Kekerasan	18
2.3.3. Pengujian Metalografi.....	19
2.3.4. Pengujian SEM – EDS	20
BAB III. METODOLOGI PENELITIAN	
3.1. Waktu dan Tempat Penelitian	22
3.2. Bahan dan Alat	22
3.2.1. Bahan yang Digunakan	22
3.2.2. Alat yang Digunakan	23

3.3. Metode Penelitian	24
3.3.1. Proses Thermal Spray	24
3.3.2. Proses Pengelasan Difusi	24
3.3.3. Pengujian Spesimen	27
3.4. Diagram Alir Penelitian.....	28
3.5. Analisa Data	29
3.5.1. Pengujian Tarik Geser	29
3.5.2. Pengujian Metalografi	29
3.5.3. Pengujian Kekerasan	30
BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	
4.1. Foto Mikro dan Morfologi Hasil Pengelasan Difusi	31
4.2. Kekuatan Tarik Geser Hasil Pengelasan Difusi	41
4.3. Distribusi Kekerasan Hasil Pengelasan Difusi	46
BAB V. PENUTUP	
5.1. Kesimpulan	50
5.2. Saran	51
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 3.1. Komposisi kimia baja SS 400	22
Tabel 3.2. Komposisi kimia Al 5083	22
Tabel 3.3. Komposisi kimia <i>interlayer</i> nikel	23
Tabel 3.4. Data jumlah spesimen proses pengelasan difusi	26
Tabel 4.1. Jenis intermetalik yang terbentuk berdasarkan spektrum titik EDS. .	41



DAFTAR GAMBAR

Halaman

Gambar 2.1. Perbandingan pengelasan Fe/Al dengan menggunakan <i>interlayer</i> Ni dan tanpa menggunakan <i>interlayer</i> Ni	7
Gambar 2.2. Pengaruh temperatur pengelasan difusi terhadap kekutan tarik sambungan difusi hasil penelitian dari (a) Zhang <i>et al</i> (2012), (b) Zhong <i>et al</i> (2010) dan (c) Sabetghadam <i>et al</i> (2010).	8
Gambar 2.3. Penampang melintang lapisan <i>thermal spray</i>	8
Gambar 2.4. Skema <i>twin wire arc spraying</i>	10
Gambar 2.5. Tahapan metalurgi <i>diffusion bonding</i>	11
Gambar 2.6. Skema bagian dari transfer material selama proses <i>diffusion bonding</i>	12
Gambar 2.7. Struktur mikro Al 5083	14
Gambar 2.8. Diagram Fasa Al-Mg	15
Gambar 2.9. Struktur Mikro Baja Karbon Rendah	16
Gambar 2.10. Diagram fasa Ni-Al	16

commit to user

17

Gambar 2.11. *Vickers Hardness test*

18

Gambar 2.12. Skema alat uji SEM

20

Gambar 3.1. Bahan yang digunakan (a) Baja SS 400 (b) Al 5083 dan c) hasil *thermal spray coating* nikel pada permukaan baja SS 400

23

Gambar 3.2. Proses pengelasan difusi

25

Gambar 3.3. Posisi material dan *thermocouple*

26

Gambar 3.4. Spesimen uji tarik geser tampak samping

27

Gambar 3.5. Spesimen uji tarik geser tampak atas

27

Gambar 3.6. Posisi spesimen pada uji tarik geser

27

Gambar 3.7. Diagram alir penelitian

28

Gambar 4.1. Mikro struktur *coating* Ni-5wt.% Al

31

Gambar 4.2. Foto SEM hasil sambungan difusi ketebalan *interlayer* 0,2 mm dengan temperatur difusi (a) 500°C (b) 525°C dan (c) 550°C

33

xii

Gambar 4.3. Foto SEM hasil sambungan difusi ketebalan *interlayer* 0,4 mm dengan temperatur difusi (a) 500°C (b) 525°C dan (c) 550°C

34

Gambar 4.4. Foto SEM hasil sambungan difusi ketebalan *interlayer* 0,6 mm dengan temperatur difusi (a) 500°C (b) 525°C dan (c) 550°C

34

Gambar 4.5. Foto SEM hasil sambungan difusi ketebalan *interlayer* 0,8 mm dengan temperatur difusi (a) 500°C (b) 525°C dan (c) 550°C

35

Gambar 4.6. Foto SEM hasil sambungan difusi ketebalan *interlayer* 1,0 mm dengan temperatur difusi (a) 500°C (b) 525°C dan (c) 550°C

35

Gambar 4.7. Foto SEM hasil IMC yang terbentuk pada ketebalan *interlayer* 0,2 mm dengan temperatur difusi (a) 500°C (b) 525°C dan (c) 550°C

37

Gambar 4.8. Foto SEM hasil IMC yang terbentuk pada ketebalan *interlayer* 0,4 mm dengan temperatur difusi (a) 500°C (b) 525°C dan (c) 550°C

37

Gambar 4.9. Foto SEM hasil IMC yang terbentuk pada ketebalan *interlayer* 0,6 mm dengan temperatur difusi (a) 500°C (b) 525°C dan (c) 550°C

38

Gambar 4.10. Foto SEM hasil IMC yang terbentuk pada ketebalan *interlayer* 0,8 mm dengan temperatur difusi (a) 500°C (b) 525°C dan (c) 550°C

38

Gambar 4.11. Foto SEM hasil IMC yang terbentuk pada ketebalan *interlayer* 1,0 mm dengan temperatur difusi (a) 500°C (b) 525°C dan (c) 550°C

39

Gambar 4.12. Grafik hasil pengujian tarik geser Baja SS 400 dengan Al 5083 terhadap ketebalan lapisan *interlayer* Ni-5 wt.% Al

42

Gambar 4.13. Foto penampang patahan pada ketebalan *interlayer* 0,2 mm dengan temperatur difusi (a) 500°C (b) 525°C dan (c) 550°C

43

Gambar 4.14. Foto penampang patahan pada ketebalan *interlayer* 0,4 mm dengan temperatur difusi (a) 500°C (b) 525°C dan (c) 550°C

.....
44

Gambar 4.15. Foto penampang patahan pada ketebalan *interlayer* 0,6 mm dengan temperatur difusi (a) 500°C (b) 525°C dan (c) 550°C

.....
44

Gambar 4.16. Foto penampang patahan pada ketebalan *interlayer* 0,8 mm dengan temperatur difusi (a) 500°C (b) 525°C dan (c) 550°C

.....
44

Gambar 4.17. Foto penampang patahan pada ketebalan *interlayer* 1,0 mm dengan temperatur difusi (a) 500°C (b) 525°C dan (c) 550°C

.....
45

Gambar 4.18. Foto SEM penampang patahan pada daerah *coating* Ni

46

Gambar 4.19. Grafik distribusi kekerasan variasi ketebalan *interlayer* 0,2 mm

.....
.....
47

Gambar 4.20. Grafik distribusi kekerasan variasi ketebalan *interlayer* 0,4 mm

.....
.....
47

Gambar 4.21. Grafik distribusi kekerasan variasi ketebalan *interlayer* 0,6 mm

.....
.....

48

Gambar 4.22. Grafik distribusi kekerasan variasi ketebalan *interlayer* 0,8 mm

.....
.....

48

Gambar 4.22. Grafik distribusi kekerasan variasi ketebalan *interlayer* 1,0 mm

