



UNIVERSITAS DIPONEGORO

**ANALISIS KEGAGALAN *DISSIMILAR METAL WELDING*
YANG DISEBABKAN OLEH *DARK BAND*
PADA MATERIAL *LAS* DAN *DSS* DISAMBUNG DENGAN
*ELECTRODE RODS INCONEL 82***

TUGAS AKHIR

**ARIF SUDARSONO
L2E 606 015**

**FAKULTAS TEKNIK
JURUSAN TEKNIK MESIN**

SEMARANG

2011

TUGAS AKHIR

- Diberikan Kepada : Nama : Arif Sudarsono
NIM : L2E 606 015
- Dosen Pembimbing : Dr. Sri Nugroho, ST, MT
- Jangka Waktu : -
- Judul : **Analisis Kegagalan *Dissimilar Metal Welding* yang Disebabkan oleh *Dark Band* pada Material *LAS* dan *DSS* Disambung dengan *Electrode Rods Inconel 82***
- Isi Tugas : Mengetahui dan menganalisis karakteristik bahan *weldolet* dan *coil tube*, serta mengungkap penyebab kegagalan pada sambungan las antara *LAS* dengan *weld zone*. Hal-hal yang dianalisis meliputi uji komposisi, struktur mikrografi optik, kekerasan, sifat mampu las, putusnya sambungan las (*disbonding*) dan uji *SEM + EDS*. Hasil yang dicapai adalah analisis tentang karakteristik bahan *weldolet* dan *coil tube*, kepekaan retak pengelasan, penyebab patahan, mekanisme patahnya *LAS* dengan *weld zone*, serta mengetahui kandungan senyawa yang terdapat pada fenomena *dark band*.

Semarang, September 2011

Pembimbing



Dr. Sri Nugroho, ST, MT

NIP. 197501181999031001

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

**Skripsi / Tesis / Disertasi ini adalah hasil karya saya sendiri,
dan semua sumber baik yang dikutip maupun yang dirujuk
telah saya nyatakan dengan benar.**

NAMA : Arif Sudarsono

NIM : L2E 606 015

Tanda Tangan :

Tanggal :

-5

September 2011

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :

NAMA : Arif Sudarsono




NIM : L2E 606 015

Jurusan/Program Studi : Teknik Mesin

Judul Skripsi : Analisis Kegagalan *Dissimilar Metal Welding* yang
Disebabkan oleh *Dark Band* pada Material *LAS* dan *DSS*
Disambung dengan *Electrode Rods Inconel 82*

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Tim Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Jurusan/Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro.

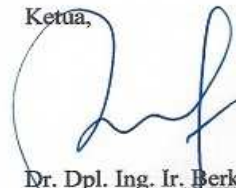
TIM PENGUJI

Pembimbing	: Dr. Sri Nugroho, ST, MT	()
Penguji	: Ir. Bambang Yunianto, MSC	()
Penguji	: Dr. Achmad Widodo, ST, MT	()
Penguji	: Dr. Rusnaldy, ST, MT	()

Semarang, September 2011

Jurusan Teknik Mesin

Ketua,



Dr. Dpl. Ing. Ir. Berkah Fadjar TK

NIP. 195907221987031003

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai civitas akademika Universitas Diponegoro, saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Arif Sudarsono
NIM : L2E 606 015
Jurusan/Program Studi : Teknik Mesin
Departemen : Universitas Diponegoro
Fakultas : Teknik
Jenis Karya : Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Diponegoro **Hak Bebas Royalti Noneksklusif** (*None-exclusive Royalty Free Right*) atas karya ilmiah saya yang berjudul :

ANALISIS KEGAGALAN *DISSIMILAR METAL WELDING* YANG DISEBABKAN
OLEH *DARK BAND* PADA MATERIAL *LAS* DAN *DSS* DISAMBUNG DENGAN
ELECTRODE RODS INCONEL 82

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti/Noneksklusif ini Universitas Diponegoro berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat dan memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Semarang
Pada Tanggal : September 2011

Yang menyatakan


(Arif Sudarsono)
NIM. L2E 606 015

Persembahan

Tugas Akhir ini penulis persembahkan kepada :

Kedua orang tua penulis, Bapak Subari A. R dan Ibu Sudarmi yang telah memberikan kasih sayang serta dukungannya tanpa kenal lelah.

MOTTO

Fokus dengan apa yang kita inginkan
berusaha dan berdo'a adalah kuncinya
untuk menggapai sebuah cita - cita

ABSTRAK

Process air preheater adalah suatu komponen pemanas yang berupa pipa yaitu sambungan antara baja paduan rendah (*weldolet*) dengan baja tahan karat (*coil tube*) yang berada dalam industri petrokimia dan berfungsi untuk menaikkan temperatur udara yang hasil udaranya berfungsi untuk memanaskan gas yang masuk pada *secondary reformer* yang bekerja pada tekanan 32 bar dengan temperatur mencapai 550 °C. Masalah yang terjadi adalah pada saat proses, terjadi retakan pada sambungan atau *disbonding* antara *weldolet* dengan *weld zone* yang kemungkinan diakibatkan adanya *dark band*. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis karakteristik *dark band* yang disinyalir menjadi penyebab kegagalan. Beberapa pengujian yang dilakukan antara lain: komposisi kimia (*spectrometry*), kekerasan mikro (*micro vickers*), perhitungan *weldability* yang disesuaikan dengan uraian hasil pembahasan, struktur mikro (mikroskop optik) dan *SEM+EDS*.

Perhitungan *weldability* menunjukkan daerah sambungan las ini rentan terhadap terjadinya retakan. Pengujian struktur mikro memberikan hasil adanya *dark band* pada batas fusi sambungan baja karbon dan *weld zone*. Kekerasan pada daerah *dark band* ini lebih tinggi dibanding daerah lainnya. Terjadinya *dark band* dan tingginya kekerasan disebabkan oleh adanya migrasi karbon dan krom sehingga membentuk fasa getas krom karbida. Makin lama komponen ini dipakai, lebar dan kekerasan *dark band* akan makin tinggi hingga menjadi penyebab terjadinya kegagalan.

Kata Kunci: *Process air preheater*, *disbonding*, komposisi kimia, kekerasan mikro, sifat mampu las, mikrografi optik, *SEM+EDS*, *dark band*, karbida krom (Cr_{23}C_6).

ABSTRACT

Process air preheater is a heating component in the form of a pipe that is a connection between low alloy steel (weldolet) with stainless steel (coil tube) which are in petrochemical industry and functioned to increase the temperature of air which the air functioning to heats the incoming gas in the secondary reformer which works at 32 bar of pressure with 550 °C of temperature. Problems that occur during the process, cracks occur on the connection or disbonding between weldolet the weld zone which is possibility due to the presence of dark bands. This study aims to analyze the characteristics of the dark band that was allegedly the cause of failure. Some of the tests performed, among others: chemical composition (spectrometry), micro hardness (micro vickers), weldability calculations which are adapted from description of discussion results, the microstructure (optical microscopy) and SEM + EDS.

The weldability calculations show the welded connections are susceptible to the occurrence of cracks. The test gives results of the micro structure of dark bands on the fusion boundary carbon steel connections and weld zone. Hardness in the dark band is higher than other areas. The occurrence of dark bands and the height of hardness caused by the migration of carbon and chromium thus forming chromium carbide brittle phase. The longer component is used, the width and hardness of dark bands will be higher up to be the cause of failure.

Keywords : process air preheater, disbonding, chemical composition, micro hardness, weldability properties, optical micrography, SEM + EDS, dark band, chromium carbide ($Cr_{23}C_6$).

KATA PENGANTAR

Alhamdulillahirobbil'alamin. Semoga puji syukur senantiasa penulis panjatkan kehadirat Allah *Subhanahu Wa Ta'ala* yang tiada hentinya mencurahkan rahmat dan hidayahnya, sehingga dengan segala karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul **"Analisis Kegagalan *Dissimilar Metal Welding* yang Disebabkan oleh *Dark Band* pada Material *LAS* dan *DSS* Disambung dengan *Electrode Rods Inconel 82*"** ini. Shalawat dan salam semoga selalu tercurah kepada panutan kita Rosulullah Muhammad SAW.

Dalam kesempatan ini penulis ingin menyampaikan rasa hormat dan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu dan memberikan dorongan dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini, antara lain:

1. Bapak Dr. Sri Nugroho, ST, MT selaku dosen pembimbing, yang telah memberikan bimbingan, pengarahan dan masukan-masukan kepada penulis untuk menyusun Tugas Akhir ini.
2. Kedua orang tua Bapak Subari A.R dan Ibu Sudarmi yang terhormat, serta keluarga di rumah yang senantiasa mendo'akan dan menyemangati penulis.

Dengan penuh kerendahan hati, penyusun menyadari akan kekurangan dan keterbatasan pengetahuan yang penyusun miliki sehingga tentu saja penyusunan Tugas Akhir ini jauh dari sempurna, untuk itu penyusun mengharapkan saran dan kritik yang membangun dari semua pihak demi kemajuan penulis untuk masa yang akan datang.

Terakhir, dengan selesainya Tugas Akhir ini berarti selesai pula masa studi penulis di Teknik Mesin UNDIP. Semoga sepenggal episode kehidupan penulis di kampus dapat memberikan manfaat bagi penulis dan juga kepada orang lain dan dapat dijadikan persiapan untuk menjalani penggalan episode kehidupan selanjutnya Amiin..

Semarang, September 2011

Penulis

DAFTAR ISI

Halaman Judul	i
Halaman Tugas Akhir	ii
Halaman Pernyataan Orisinalitas	iii
Halaman Pengesahan	iv
Halaman Pernyataan Persetujuan Publikasi Tugas Akhir untuk Kepentingan Akademis	v
Abstrak	viii
Kata Pengantar	x
Daftar isi	xi
Daftar Gambar	xiv
Daftar Tabel	xvii
Nomenklatur	xviii

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan dan Manfaat Penelitian	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Metode Penelitian	3
1.5 Sistematika Penulisan	3

BAB II DASAR TEORI

2.1 <i>Process Air Preheater</i>	5
2.2 <i>DMW (Dissimilar Metal Welding)</i>	6
2.3 <i>Alloy Steels</i>	6
2.4 <i>Stainless Steel</i>	9
2.5 Diagram <i>Continous Cooling Transformation (CCT)</i>	9
2.6 Diagram <i>Schaeffler</i>	11
2.7 <i>PWHT</i>	11
2.8 Sifat Mampu Las (<i>Weldability</i>)	12

2.9	Analisis Kegagalan	13
2.10	<i>Disbonding</i>	14
2.11	Mesin <i>Scanning Electron Microscopy (SEM)</i>	15

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1	Diagram Alir Proses Penelitian	17
3.2	Pengujian Benda Uji	19
3.2.1	Pengujian Metalografi Optik	19
3.2.1.1	Spesimen Potongan Pipa	19
3.2.1.2	Peralatan Pengujian	20
3.2.1.3	Prosedur Pengujian	21
3.2.2	Pengujian Komposisi	23
3.2.2.1	Spesimen Potongan Pipa	23
3.2.2.2	Prosedur Pengujian	23
3.2.3	Pengujian <i>SEM + EDS</i>	26
3.2.3.1	Peralatan Pengujian	26
3.2.3.2	Prosedur Pengujian	27

BAB IV DATA DAN ANALISIS DATA

4.1	Data dan Analisis Hasil Pengujian Komposisi	31
4.1.1	Data Hasil Uji Komposisi	31
4.1.2	Pembahasan Komposisi Paduan Bahan <i>Weldolet</i>	34
4.1.3	Prediksi Struktur Mikro menggunakan Diagram Schaeffler.....	34
4.1.4	Sifat Mampu Las Bahan <i>Weldolet</i>	36
4.2	Hasil Uji Struktur Mikro menggunakan Mikroskop Optik	38
4.3	Hasil Uji Kekerasan menggunakan <i>Micro Vickers Hardness</i>	39
4.4	Data dan Hasil Uji <i>Scanning Electron Microscopy (SEM)</i> dan <i>Energy Dispersive Spectrometry (EDS)</i>	40
4.4.1	Data dan Hasil Uji <i>Scanning Electron Microscopy (SEM)</i>	41
4.4.2	Data dan Hasil Uji <i>Energy Dispersive Spectrometry (EDS)</i>	44

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan	49
5.2 Saran	49

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	a) <i>Air Preheater</i> . b) <i>Tube</i> yang bocor	6
Gambar 2.2	Diagram klasifikasi baja	8
Gambar 2.3	Diagram <i>Time Temperature Transformation (TTT)</i>	10
Gambar 2.4	Diagram <i>Continous Cooling Transformation (CCT)</i>	10
Gambar 2.5	Diagram <i>Schaeffler</i>	11
Gambar 2.6	Kombinasi pengaruh ketebalan logam dasar dan kandungan karbon pada sifat mampu las	12
Gambar 2.7	Fenomena <i>Disbonding</i>	14
Gambar 2.8	Fenomena <i>dark band</i> pada batas las antara <i>inconel 82</i> dengan <i>LAS</i> ..	15
Gambar 2.9	Diagram mesin <i>SEM</i>	16
Gambar 3.1	Diagram alir proses penelitian	17
Gambar 3.2	Lokasi pengambilan benda uji pipa pada bahan <i>weldolet</i> untuk pengujian metalografi optik	19
Gambar 3.3	Spesimen Uji Metalografi	20
Gambar 3.4	Peralatan pengujian metalografi optik. a). Gerinda potong, b). Mesin amplas, c). Larutan <i>etching</i> , d). Mikroskop metalografi optik, dan e). Kamera digital	20
Gambar 3.5	Diagram alir pengujian metalografi optik	22
Gambar 3.6	Lokasi Pengambilan Benda Uji Komposisi	23
Gambar 3.7	a) Spesimen Uji Komposisi <i>DSS</i> b) Spesimen Uji Komposisi <i>LAS</i> ...	23
Gambar 3.8	Diagram alir pengujian komposisi	25
Gambar 3.9	Mesin <i>SEM + EDS</i> Jeol type <i>JSM-6390A</i>	26
Gambar 3.10	Mesin Ion Sputter <i>JFC-1600</i>	28
Gambar 3.11	Penembakan <i>gold-palladium</i> dalam mesin <i>Ion Sputter</i>	29
Gambar 3.12	Diagram alir pengujian <i>SEM + EDS</i>	30
Gambar 4.1	Plot Diagram <i>Schaeffler</i>	36
Gambar 4.2	Batas las antara <i>inconel 82</i> dengan <i>LAS</i> . a). <i>low alloy steel</i> b). <i>fusion line</i> c). <i>weld metal</i>	39

Gambar 4.3	Titik indentasi kekerasan. a). <i>low alloy steel (las)</i> b). <i>dark band (db)</i> c). <i>weld zone (wz)</i>	39
Gambar 4.4	Hubungan antara indentasi dengan nilai kekerasan	40
Gambar 4.5	Makrografi sambungan <i>DMW</i>	41
Gambar 4.6	Hasil <i>SEM</i> perbesaran 100 x	41
Gambar 4.7	Hasil <i>SEM</i> perbesaran 500 x	42
Gambar 4.8	Hasil <i>SEM</i> perbesaran 500 x dengan terlihatnya lebar <i>dark band</i>	42
Gambar 4.9	Hasil <i>SEM</i> perbesaran 2000 x	43
Gambar 4.10	Hasil <i>SEM</i> perbesaran 5000 x	43
Gambar 4.11	Daerah penembakan <i>EDS</i>	44
Gambar 4.12	Data dan grafik hasil <i>EDS</i> titik 1	45
Gambar 4.13	Data dan grafik hasil <i>EDS</i> titik 2	45
Gambar 4.14	Data dan grafik hasil <i>EDS</i> titik 3	46
Gambar 4.15	Data dan grafik hasil <i>EDS</i> titik 4	46
Gambar 4.16	Data dan grafik hasil <i>EDS</i>	47
Gambar 4.17	Data dan grafik hasil <i>EDS</i> unsur krom (Cr)	47
Gambar 4.18	Data dan grafik hasil <i>EDS</i> unsur karbon (C)	47

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1	Komposisi kimia logam pengisi <i>Inconel 82</i>	31
Tabel 4.2	Komposisi kimia <i>duplex stainless steel (DSS)</i>	32
Tabel 4.3	Komposisi kimia <i>low alloy steel (LAS)</i>	33
Tabel 4.4	Hasil perhitungan persentase Cr _(eq) dan Ni _(eq)	35
Tabel 4.5	Hasil perhitungan prediksi persen dilusi	35
Tabel 4.6	Hasil perhitungan sifat mampu las bahan <i>weldolet</i>	37

NOMENKLATUR

Simbol	Definisi	Satuan
d	Jarak antar bidang	(Å)
P	Tekanan	(kg/cm ²)
R	Radius atom	(Å)
λ	Panjang gelombang dari sinar-x	(Å)