ABSTRAK

Nama	:	Toni
Program Studi	:	Magister Teknik mesin
Judul	:	ANALISIS KARAKTERISTIK MEKANIK DAN METALURGI PADA *DISSIMILAR METAL WELD* ANTARA PIPA *CARBON STEEL* DAN PIPA *AUSTENITIC STAINLESS STEEL*

Fenomena pengelasan logam tidak sejenis banyak digunakan dalam industri minyak dan gas, petrokimia, serta pembangkit listrik, namun perbedaan sifat fisik dan kimia antara kedua material tersebut sering menimbulkan permasalahan, seperti terbentuknya fasa intermetalik rapuh dan tegangan sisa yang menurunkan kualitas sambungan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis karakteristik mekanik dan metalurgi pada *dissimilar metal weld* antara pipa *Carbon Steel ASTM A-106 Gr. B* dan *Austenitic Stainless Steel ASTM A-312 TP304*. Penelitian ini menggunakan metode eksperimental dengan proses pengelasan *Gas Tungsten Arc Welding* (GTAW) menggunakan elektroda SS-309 dan Inconel, dilanjutkan dengan pengujian *non-destructive testing* (NDT) dan *destructive testing* (DT), meliputi uji tarik, uji kekerasan *Vickers*, serta observasi mikrostruktur menggunakan mikroskop metalografi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kekuatan tarik sambungan berada di kisaran standar ASTM dengan penurunan kekuatan di area *heat affected zone* (HAZ) akibat distribusi panas tidak merata. Nilai kekerasan tertinggi ditemukan pada daerah *weld metal* karena pengaruh pendinginan cepat, sementara mikrostruktur menunjukkan perbedaan dominan antara fasa ferit-perlit pada baja karbon dan austenit pada *stainless steel*. Pembentukan fasa intermetalik terdeteksi pada daerah transisi, namun masih dalam batas yang dapat diterima untuk aplikasi tekanan tinggi. Pengelasan *dissimilar metal* ini menghasilkan sambungan yang layak secara mekanik dan metalurgi bila parameter pengelasan dikontrol dengan tepat. Penelitian ini menyarankan optimasi arus dan pra-pemanasan guna mengurangi tegangan residu dan meningkatkan homogenitas sambungan.

Kata kunci*: dissimilar metal weld, carbon steel ASTM A-106 Gr. B, stainless steel ASTM A-312 TP304, karakteristik mekanik, struktur mikro.*

ABSTRACT

Name	:	*Toni*
Study Program	:	*Master of Mechanical Engineering*
Title	:	*ANALYSIS OF MECHANICAL AND METALLURGICAL CHARACTERISTICS OF DISSIMILAR METAL WELD BETWEEN CARBON STEEL PIPE AND AUSTENITIC STAINLESS STEEL PIPE*

The phenomenon of dissimilar metal welding is widely used in the oil and gas, petrochemical, and power generation industries, but differences in physical and chemical properties between the two materials often cause problems, such as the formation of brittle intermetallic phases and residual stresses that reduce the quality of the joint. This study aims to analyze the mechanical and metallurgical characteristics of dissimilar metal welds between ASTM A-106 Gr. B Carbon Steel pipes and ASTM A-312 TP304 Austenitic Stainless Steel. This study uses an experimental method with a Gas Tungsten Arc Welding (GTAW) welding process using SS-309 and Inconel electrodes, followed by non-destructive testing (NDT) and destructive testing (DT), including tensile tests, Vickers hardness tests, and microstructural observations using a metallographic microscope. The results showed that the tensile strength of the joint was within the ASTM standard range with a decrease in strength in the heat affected zone (HAZ) area due to uneven heat distribution. The highest hardness value was found in the weld metal area due to the effect of rapid cooling, while the microstructure showed a dominant difference between the ferrite-pearlite phase in carbon steel and austenite in stainless steel. Intermetallic phase formation was detected in the transition region, but it was still within acceptable limits for high-pressure applications. This dissimilar metal welding produced a mechanically and metallurgically sound joint when the welding parameters were properly controlled. This study suggests optimization of the current and preheating to reduce residual stresses and improve joint homogeneity.

Keywords: dissimilar metal weld, carbon steel ASTM A-106 Gr. B, stainless steel ASTM A-312 TP304, mechanical characteristics, microstructure

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS ii
HALAMAN PERNYATAAN NON PLAGIAT iii
HALAMAN PENGESAHAN iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS v
KATA PENGANTAR vi
ABSTRAK vii
ABSTRACT viii
DAFTAR ISI ix
DAFTAR GAMBAR xi
DAFTAR TABEL xii
DAFTAR GRAFIK & DAFTAR LAMPIRAN xii
BAB 1 PENDAHULUAN 1
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Rumusan Masalah 4
1.3 Tujuan Penelitian 5
1.4 Manfaat Penelitian 6
1.4.1 Manfaat Akademis 6
1.4.2 Manfaat Praktis 6
1.4.3 Manfaat Industri 7
1.5 Sistematika Penulisan 7
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA 9
2.1 *Dissimilar Metal Welding* 9
2.2 Karakteristik Material Dasar 9
2.2.1 *Carbon Steel* ASTM A-106 Gr.B 9
2.2.2 *Austenitic Stainless Steel* ASTM A-312 TP304 17
2.3 Proses Pengelasan *Dissimilar Metal* 29
2.3.1 Teknik Pengelasan *Dissimilar Metal* 29
2.3.2 Tantangan dalam Pengelasan *Dissimilar Metal* 34
2.4 Karakteristik Sambungan Las 34

2.5 Penelitian Sebelumnya 36
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN 42
3.1 Material dan Peralatan 42
3.1.1 Material 42
3.1.2 Peralatan 45
3.1.3 Prosedur Penyiapan Material dan Alat 49
3.1.4 Prosedur Pengujian 51
3.1.5 Spesimen Uji dan Metode Pengujian 55
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN 59
4.1 Hasil Penelitian 59
4.1.1 Rancangan Spesimen 59
4.1.2 Hasil *Non-Destructive Testing* (NDT) 61
4.1.3 Hasil *Destructive Testing* (DT) 64
4.2 Pembahasan 88
4.2.1 Pengaruh Proses Pengelasan Terhadap Sifat Mekanik, Termasuk Kekuatan Tarik, Kekerasan, dan Ketangguhan Sambungan Las Antara Pipa *Carbon Steel ASTM A-106 Gr. B* dan Pipa *Austenitic Stainless Steel ASTM A-312 TP304* 88
4.2.2 Perubahan Karakteristik Metalurgi yang Terjadi pada Sambungan, Meliputi Struktur Mikro, Zona Pengaruh Panas (*Heat Affected Zone*), dan Keberadaan Fasa-Fasa Tertentu pada Sambungan Antara Pipa *Carbon Steel ASTM A-106 Gr. B* dan Pipa *Austenitic Stainless Steel ASTM A-312 TP304* 91
4.2.3 Hubungan Antara Karakteristik Mekanik dan Metalurgi dalam Menentukan Kualitas Sambungan Las Antara Pipa *Carbon Steel ASTM A-106 Gr. B* dan Pipa *Austenitic Stainless Steel ASTM A-312 TP304* untuk Aplikasi Industri 93
BAB 5 KESIMPULAN 97
5.1 Kesimpulan 97
5.2 Saran 98
DAFTAR PUSTAKA 101

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 *Iron-Carbon Phase Diagram* 11
Gambar 2.2 Contoh Mikrostruktur Ferit-Perlit pada Baja Karbon Sumber: (Isworo & Rahman, 2020) 13
Gambar 2.3 Mikrostruktur Austenit 20
Gambar 2.4 *Tensile Test Setup* 21
Gambar 2.5 Perbandingan Konduktivitas Termal 27
Gambar 2.6 Skema Parameter SMAW 30
Gambar 2.7 Skema Parameter GTAW 31
Gambar 2.8 Skema Parameter GMAW 33
Gambar 3.1 Pipa *Carbon Steel* ASTM A-106 Gr. B 43
Gambar 3.2 Pipa *Austenitic Stainless Steel* ASTM A-312 TP304 44
Gambar 3.3 Kawat Las SS 309 46
Gambar 3.4 Kawat Las SS 308 46
Gambar 3.5 Kawat Las Inconel 47
Gambar 3.6 Prosedur Penelitian 55
Gambar 4.1 Sampling Joint Pipa 60
Gambar 4.2 *Post Cleaning Before Applying Penetrant* 62
Gambar 4.3 *Applying Penetrant Test* 62
Gambar 4.4 *Applying Developer* 63
Gambar 4.5 Pola Mikrostruktur *Carbon Steel* ASTM A-106 Gr.B pada Kondisi Awal dengan Pembesaran 200x, 500x, dan 1000x 65
Gambar 4.6 Pola Mikrostruktur *Stainless Steel* ASTM A-312 TP304 pada Kondisi Awal dengan Pembesaran 200x, 500x, dan 1000x 66
Gambar 4.7 Uji Metalografi Area *Welding* Spesimen X&M (SS 309 – 60A) pada Pembesaran 200x; 500x; 1000x 67
Gambar 4.8 Uji Metalografi Area *Welding* Spesimen Y&M (Inconel – 60A) pada Pembesaran 200x; 500x; 1000x 68
Gambar 4.9 Uji Metalografi MT-1-BM-CS (*Base Metal – Carbon Steel*) Spesimen Y&M (Inconel – 60A) pada Pembesaran 200x; 500x; 1000x 69
Gambar 4.10 Uji Metalografi MT-1-BM-SS (*Base Metal – Stainless Steel*) Spesimen Y&M (Inconel – 60A) pada Pembesaran 200x; 500x; 1000x 70
Gambar 4.11 Uji Metalografi MT-1-HAZ-CS (Area HAZ – *Carbon Steel*) Spesimen Y&M (Inconel – 60A) pada Pembesaran 200x; 500x; 1000x 71
Gambar 4.12 Uji Metalografi MT-1-HAZ-SS (Area HAZ – *Stainless Steel*) Spesimen Y&M (Inconel – 60A) pada Pembesaran 200x; 500x; 1000x 73

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Komposisi *Carbon Steel* A-106 Gr.B 10
Tabel 2.2 Komposisi Kimia Baja Tahan Karat A-312 18
Tabel 2.3 Penelitian Sebelumnya 36
Tabel 3.1 Prosedur Pengujian 53
Tabel 3.2 Persyaratan Tarik (*Tensile Requirements*) untuk ASTM A106 Grade B 57
Tabel 4.1 *Hardness Test* Spesimen X&K (SS 309 – 40A) 74
Tabel 4.2 *Hardness Test* Spesimen Y&K (Inconel – 40A) 75
Tabel 4.3 *Hardness Test* Spesimen X&L (SS 309 – 50A) 75
Tabel 4.4 *Hardness Test* Spesimen Y&L (Inconel – 50A) 76
Tabel 4.5 *Hardness Test* Spesimen X&M (SS 309 – 60A) 77
Tabel 4.6 *Hardness Test* Spesimen Y&M (Inconel – 60A) 77
Tabel 4.7 Hasil *Hardness Test* Keseluruhan 78
Tabel 4.8 *Tensile Test* Spesimen X&K (SS 309 – 40A) 80
Tabel 4.9 *Tensile Test* Spesimen Y&K (Inconel – 40A) 81
Tabel 4.10 *Tensile Test* Spesimen X&L (SS 309 – 50A) 82
Tabel 4.11 *Tensile Test* Spesimen Y&L (Inconel – 50A) 83
Tabel 4.12 *Tensile Test* Spesimen X&M (SS 309 – 60A) 84
Tabel 4.13 *Tensile Test* Spesimen Y&M (Inconel – 60A) 85
Tabel 4.14 Hasil *Tensile Test* Keseluruhan 86

DAFTAR GRAFIK

Grafik 4.1 Hasil *Hardness Test* 78
Grafik 4.2 Hasil *Tensile Test* 86

DAFTAR LAMPIRAN HASIL REPORT NDT DAN DT

Lampiran 1. Laporan NDT Dye penetrant 6 *Test Piece*
Lampiran 2. *Tensile Test & Elongation Result Report*
Lampiran 3. *Hardness Test & Microstructure Report*