

TESIS

**ANALISA PARAMETER PENGELASAN TIDAK
SEJENIS PADA MATERIAL ASTM A36 (SS400) DAN
SS316 DENGAN PROSES PENGELASAN SMAW**



**AFRIANSYAH
NIM. 03032681822004**

**PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK MESIN
PASCASARJANA FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SRIWIJAYA
2020 TESIS**

**ANALISA PARAMETER PENGELASAN TIDAK
SEJENIS PADA MATERIAL ASTM A36 (SS400) DAN
SS316 DENGAN PROSES PENGELASAN SMAW**

**Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Magister Teknik**



**AFRIANSYAH
NIM. 03032681822004**

**PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK MESIN
JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SRIWIJAYA
2020**

HALAMAN PENGESAHAN

**ANALISA PARAMETER PENGELASAN TIDAK SEJENIS
PADA MATERIAL ASTM A36 (SS400) DAN SS316
DENGAN PROSES PENGELASAN SMAW**

TESIS

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat
Untuk Mendapatkan Gelar Magister Teknik mesin
Pada Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya

Oleh:
Afriansyah
NIM. 03032681822004

Menyetujui



Amir Arifin ST. MT. Ph.D
NIP. 197909272003121004

Palembang, Juni 2020



Agung Mataram ST. MT. Ph.D
NIP. 197901052003121002

Mengetahui

Dekan Fakultas Teknik
Universitas Sriwijaya



Prof. Ir. Subriyer Nasir, M.S, Ph.D
NIP. 1969000909187031004

Ketua Jurusan Teknik Mesin



Irsyadi Yani, S.T, M.Eng, Ph.D
NIP. 197112251997021001

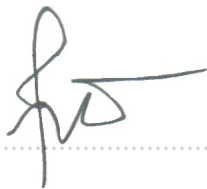
HALAMAN PERSETUJUAN

Karya Tulis Ilmiah berupa Tesis ini dengan judul “ANALISA PARAMETER PENGELASAN TIDAK SEJENIS PADA MATERIAL ASTM A36 (SS400) DAN SS316 DENGAN PROSES PENGELASAN SMAW” telah dipertahankan di hadapan Tim Penguji Karya Tulis Ilmiah Fakultas Teknik Program Studi Magister Teknik Mesin Universitas Sriwijaya pada TanggalJuni 2020

Palembang, ... Juni 2020

Pembimbing:

1. Amir Arifin, S.T., M.Eng.,Ph.D.
NIP. 197909272003121004
2. Agung Mataram, S.T., M.T.,Ph.D.
NIP. 197901052003121002

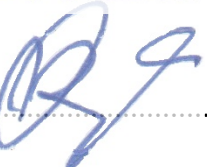
(.....)

(.....)

Penguji:

1. Prof. Dr. Ir. Nukman., M.T
NIP. 195903211987031001
2. Irsyadi Yani, S.T., M.Eng., Ph.D.
NIP. 197112251997021001
3. Dr. Ir. Diah Kusuma Pratiwi, M.T.
NIP. 196307191990032001

(.....)

(.....)

(.....)

Dekan Fakultas Teknik
Universitas Sriwijaya



Prof. Ir. Subriyer Nasir, M.S, Ph.D
NIP. 1969000909187031004

Koordinator Program Studi
Magister Teknik Mesin



Agung Mataram, S.T.,M.T.,Ph.D.
NIP. 197901052003121002

JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SRIWIJAYA

Agenda no :
Diterima Tanggal :
Paraf :

TESIS

NAMA : **AFRIANSYAH**
NIM : **03032681822004**
JURUSAN : **S2 TEKNIK MESIN**
BIDANG STUDI : **TEKNIK PRODUKSI DAN MATERIAL**
JUDUL : **ANALISA PARAMETER PENGELASAN
TIDAK SEJENIS PADA MATERIAL
ASTM A36 (SS400) DAN SS316 DENGAN
PROSES PENGELASAN SMAW**
DIBUAT TANGGAL : **20 DESEMBER 2019**
SELESAI TANGGAL : **10 JUNI 2020**

Palembang, Juni 2020

Menyetujui
Pembimbing 1



Amir Arifin, S.T., M.Eng., Ph.D
NIP. 197909272003121004

Pembimbing 2



Agung Mataram, S.T., M.T., Ph.D
NIP. 197901052003121002

Mengetahui
Ketua Jurusan Teknik Mesin



Irsyadi Yani, S.T., M.Eng., Ph.D.
NIP. 197112251997021001

HALAMAN PERNYATAAN INTERGERITAS

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Apriansyah, S. T.
NIM : 03032681822004
Judul Tesis : Analisa Parameter Pengelasan Tidak Sejenis Pada Materian ASTM A36 (SS400) Dan SS316 Dengan Pengelasan SMAW

Menyatakan bahwa Tesis saya merupakan hasil karya sendiri didampingi tim pembimbing dan bukan hasil penjiplakan / plagiat. Apabila di temukan unsur penjiplakan/plagiat dalam Tesis ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik dari Universitas Sriwijaya sesuai aturan yang berlaku.

Demikian, pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar dan tanpa ada paksaan dari siapapun.



Palembang, Juli 2020

A handwritten signature in blue ink, appearing to be 'Apriansyah, S. T.', written over a 1000 Rupiah Indonesian banknote. The banknote is partially visible, showing the number '1000' and the Garuda Pancasila emblem.

Apriansyah, S. T.

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT, yang mana pada kesempatan ini penulis dapat menyelesaikan Tesis yang berjudul “ANALISA PARAMETER PENGELASAN TIDAK SEJENIS PADA MATERIAL ASTM A36 (SS400) DAN SS316 DENGAN PROSES PENGELASAN SMAW”.

Penulis tak lupa banyak mengucapkan terima kasih kepada Dosen dan Staf Program Studi Magister Teknik Mesin, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya, yang telah banyak memberikan bahan dan arahan dalam pembuatan tesis ini, teman-teman yang memberi semangat dalam penyelesaian proposal ini. Penulis juga menyampaikan terima kasih atas bimbingan, arahan, dan masukan dalam pembuatan tesis ini, kepada Bapak Agung Mataram, S.T.,M.T.,Ph.D sebagai Ketua Program Studi Magister Teknik Mesin dan Pembimbing tesis penulis serta Bapak Amir Arifin ST.MT.Ph.D sebagai pembimbing tesis penulis.

Selain itu, penulis juga ingin mengucapkan terima kasih juga kepada pihak yang membantu selama penulisa dan pelaksanaan eksperimen tesis ini yaitu kedua orang tua dan istri serta anakku tercinta, om agung Kristian yang membantu proses administrasi di jurusan, welder andalan sdr. Reza, pekerja dan crew rig emsco D2-M atas bantuannya selama ini.

Untuk kesempurnaan tesis ini, diharapkan saran dan masukan yang membangun dari semua pihak. Penulis juga berharap penelitian ini bermanfaat dan berguna bagi masyarakat akademisi dan masyarakat pada umumnya.

Palembang, Maret 2020

Penulis

Afriansyah

RINGKASAN

ANALISA PARAMETER PENGELASAN TIDAK SEJENIS PADA MATERIAL ASTM A36 (SS400) DAN SS316 DENGAN PROSES PENGELASAN SMAW

Karya Tulis Ilmiah berupa Tesis, 26 Juni 2020

Afriansyah; dibimbing oleh Amir Arifin, S.T., M.Eng., Ph.D. & Agung Mataram, S.T., M.T., Ph.D

Parameter Analysis of Dissimilar Welding on ASTM A36(SS400) and SS316 With SMAW Welding Process

CIX + 111 halaman, 34 tabel, 56 gambar, 8 lampiran

RINGKASAN

Dissimilar welding banyak di gunakan di industri konstruksi seperti pembuatan boiler, pembuatan menara rig, pembuatan komponen otomotif dan lain sebagainya. Pada penelitian ini dilakukan pengelasan beda material antara material *Low carbon steel* A36 dan *asustenitic stainless steel* SS316. Pengelasan dilakukan dengan berbagai parameter pengelasan dengan 4 faktor dan 3 level faktor. 4 faktor yaitu jenis elektroda, arus pengelasan, tegangan pengelasan, dan kecepatan pengelasan. Specimen yang dibuat sebanyak 9 spesimen. Setiap specimen di bagi untuk dilakukan pengujian kekerasan, pengujian tarik, dan pengujian bending. Analisa atas hasil pengujian dilakukan dengan metode Taguchi dan Anova untuk mengetahui parameter optimal dari setiap hasil pengujian. Metode *Large is better* digunakan dalam analisa Taguchi. Simulasi dengan program Minitab dilakukan untuk membantu perhitungan Taguchi dan ANOVA. Hasil pengujian tersebut lalu di konfirmasi dengan pengujian konfirmasi untuk setiap hasil pengujian. Pengujian konfirmasi menunjukkan bahwa hasil eksperimen masih dalam rentang interval nilai optimum setiap pengujian. Analisa metalografi dilakukan untuk melihat perubahan struktur mikro yang diakibatkan oleh perubahan parameter pengelasan. Pengujian struktur mikro dilakukan pada daerah logam las, daerah HAZ, dan daerah logam induk. Hasil akhir menunjukkan bahwa parameter optimal untuk kekerasan adalah jenis elektroda E312, arus pengelasan 110 A, tegangan pengelasan 14A, dan kecepatan pengelasan 4cm/min. Parameter optimal dari nilai uji Tarik adalah jenis elektroda E308, arus pengelasan 110A, tegangan pengelasan 14V, dan kecepatan pengelasan sebesar 4cm/min. Parameter optimal untuk mendapatkan hasil uji bending yang tinggi adalah jenis elektroda E308, arus pengelasan 90A, tegangan pengelasan 14V, dan kecepatan pengelasan 5 cm/min. Dapat disimpulkan bahwa pengelasan beda material untuk material A36 dan SS316 dapat dilakukan berdasarkan parameter di atas.

Kata Kunci : Pengelasan SMAW, *Dissimilar welding*, Pengujian tidak merusak, Pengujian merusak, Metode taguchi, Anova,

Kepustakaan : 51 (1991 – 2019)

SUMMARY

PARAMETER ANALYSIS OF DISSIMILAR WELDING ON ASTM A36(SS400) AND SS316 WITH SMAW WELDING PROCESS

Article Scientific; Thesis, June 26th, 2020

Afriansyah; supervised by Amir Arifin, S.T., M.Eng.,Ph.D & Agung Mataram, S.T.,M.T.,Ph.D

ANALISA PARAMETER PENGELASAN TIDAK SEJENIS PADA MATERIAL ASTM A36 (SS400) DAN SS316 DENGAN PROSES PENGELASAN SMAW

CIX + 111 Pages, 34 tables, 56 Figures, 8 attachments

Dissimilar welding is widely used in the construction industry such as boilers industry, rig manufacture, automotive components etc. Welding of different materials between A36 Low carbon steel material and SS316 stainless steel asustenitic is topic of research. Welding is carried out with various welding parameters with 4 factors and 3 factor levels. 4 factors, namely the type of electrode, welding current, welding voltage, and welding speed. 9 specimens were made. Each specimen is divided into hardness testing, tensile testing, and bending testing. Analysis of the test results is carried out by the Taguchi and Anova methods to determine the optimal parameters of each test result. The Large is better method is used in Taguchi analysis. Simulations with the Minitab program are carried out to assist Taguchi and ANOVA calculations. The test results are confirmed with confirmation testing for each test result. Confirmation testing showed that the results of the experiment are still within the optimum interval of each test. Metallographic analysis is carried out to see changed in the microstructure caused by changed in welding parameters. Microstructure testing is carried out in the weld metal area, the HAZ area, and the parent metal area. The final results show that the optimal parameters for hardness are E312 electrode type, 110A welding current, 14A welding voltage, and 4cm / min welding speed. The optimal parameters of the Tensile test value are the type of E308 electrode, welding current 110A, welding voltage of 14V, and welding speed of 4cm / min. The optimal parameters to get high bending test results are the type of E308 electrode, welding current of 90A, welding voltage of 14V, and welding speed of 5 cm / min. It can be concluded that welding of different materials for A36 and SS316 materials can be carried out based on the above parameters.

Keywords : *SMAW welding, Dissimilar welding, Non Destructive test, Destructive Test, Taguchi Method, ANOVA*

DAFTAR ISI

	Hal
HALAMAN PENGESAHAN	iii
HALAMAN PERSETUJUAN	iv
KATA PENGANTAR	xi
RINGKASAN	xii
SUMMARY	xiii
DAFTAR ISI	xiv
DAFTAR GAMBAR	xix
DAFTAR TABEL	xxi
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah	4
1.4 Tujuan Penelitian	4
1.5 Manfaat Penelitian	5
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Pengertian Pengelasan	7
2.2 Jenis Pengelasan	9
2.3 Pengelasan Busur Listrik	10
2.3.1 <i>Las Elektroda terbungkus (SMAW)</i>	10
2.3.2 <i>Las Busur Gas Tungsten (GTAW)</i>	13
2.3.3 <i>las Busur Gas Logam (GMAW)</i>	15
2.3.4 <i>Las Busur Tanpa Gas</i>	16
2.4 Pengelasan Tidak Sejenis	17
2.5 Material baja Karbon Rendah dan Stainless Steel	21
2.5.1 Baja karbon Rendah (Low Carbon Steel)	21
2.6.1 Baja Stainless Steel	23
2.6 Pengujian Sambungan Didaerah Lasan	25

2.6.1	Pengujian kekerasan	26
2.6.1.1	<i>Metode Gores</i>	26
2.6.1.2	<i>Metode Pantul atau Elastik</i>	27
2.6.1.3	<i>Metode Indentansi</i>	27
2.6.2	Pengujian Kekuatan Tarik (Tension Strength)	28
2.6.3	Pengujian bending	32
2.6.4	Pengujian Metalografi	34
2.6.4.1	<i>Pemotongan (cutting)</i>	34
2.6.4.2	<i>Mounting</i>	35
2.6.4.3	<i>Pengamplasan (Grinding)</i>	35
2.6.4.4	<i>Pemolesan (polishing)</i>	36
2.6.4.5	<i>Etsa (Etching)</i>	36
2.6.5	Scanning Electron Microscopy (SEM)	36
2.6.6	Energy Dispersed Spectroscopy (EDS)	38
2.6.7	Pengujian Tidak Merusak (Non Destructive Test)	39
2.6.7.1	<i>Pengujian Liquid Penetrant</i>	39
2.6.7.2	<i>Pengujian Radiografi</i>	40
2.6.7.3	<i>Pengujian Ultrasonic</i>	41
2.6.7.4	<i>Pengujian partikel Magnet</i>	42
2.6.7.5	<i>Pengujian Arus Eddy (Eddy Current)</i>	42
2.7	Cacat Daerah Lasan	43
2.7.1	Cacat Las Undercut	43
2.7.2	Cacat Las Porositas	44
2.7.3	Cacat Las Slag Inclusion	45
2.7.4	Cacat Las Tungsten Inclusion	45
2.7.5	Cacat Las Incomplete Penetration	46
2.7.6	Cacat Las Incomplete Fusion	47
2.7.7	Cacat Las Over Spatter	47
2.7.8	Cacat Las Hot Crack	48
2.7.9	Cacat Las Cold Cracking	49
2.8	Metode Taguchi	49
2.8.1	Metode Anova	51

2.9 Program Minitab	52
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN	53
3.1 Diagram Alir Penelitian	53
3.2 Pengumpulan Data	54
3.2.1 Komposisi dan Propertis Logam Induk (Base Metal)	54
3.2.2 Parameter Pengelasan SMAW	55
3.3 Design dan eksperimental set up faktor dan level faktor (Matrik L9) parameter pengelasan	55
3.4 Proses Pengelasan SMAW	56
3.5 Pengujian NDT (Radiografi Test)	58
3.6 Pengujian Kekerasan	59
3.7 Pengujian Tarik	60
3.8 Pengujian Bending	61
3.9 Pengujian metalografi	62
3.10 Analisa Hasil dengan metode taguchi	63
BAB 4 METODOLOGI PENELITIAN	65
4.1 Design dan Eksperimental Set up	65
4.2 Proses Pengelasan	67
4.3 Inspeksi Radiografi	68
4.4 Hasil Pengujian Kekerasan	71
4.5 Hasil Pengujian Tarik (Tension Test)	74
4.6 Hasil pengujian bending	77
4.7 Hasil Pengujian Metalografi	79
4.8 Hasil Analisa Taguchi	83
4.8.1 Analisa Means (rata-rata)	83
4.8.2 Analisa S/N Ratio	88
4.9 Hasil analisa ANOVA	92
4.10 Confirmation Experiment	96
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	101
5.1 Kesimpulan	101
5.2 Saran	103
DAFTAR RUJUKAN	104

LAMPIRAN	112
1 Lampiran 1	112
2 Lampiran 2	113

DAFTAR GAMBAR

	Halaman	
Gambar 2.1	Perkembangan teknologi pengelasan	8
Gambar 2.2	Klasifikasi pengelasan dan cara pemotongan	10
Gambar 2.3	Proses pengelasan las elektroda terbungkus	11
Gambar 2.4	Proses schematic pengelasan GTAW	14
Gambar 2.5	Peralatan dan proses pengelasan GMAW	16
Gambar 2.6	Irisan pengelasan material tidak sejenis	21
Gambar 2.7	Struktur mikro baja karbon rendah	22
Gambar 2.8	Konfigurasi specimen pengujian tarikl	29
Gambar 2.9	Grafik tegangan versus regangan untuk baja karbon rendah	30
Gambar 2.10	Jenis Alat uji Bending	33
Gambar 2.11	Specimen dan orientasi tes pada uji bending	34
Gambar 2.12	Prinsip kerja dan komponen peralatan SEM	37
Gambar 2.13	Contoh Hasil SEM	38
Gambar 2.14	Prinsip kerja EDS	39
Gambar 2.15	Contoh Hasil Dye Penetrant	40
Gambar 2.16	Prinsip kerja radiografi	41
Gambar 2.17	Proses pengujian radiografi	41
Gambar 2.18	Prinsip kerja pengujian ultrasonic	42
Gambar 2.19	Prinsip kerja partikel magnet	42
Gambar 2.20	Prinsip kerja arus Eddy	43
Gambar 2.21	Contoh cacat las undercut	44
Gambar 2.22	Contoh cacat akibat porositas	44
Gambar 2.23	Contoh slug inculsion	45
Gambar 2.24	Contoh cacat tungsten inclusion	46
Gambar 2.25	Contoh cacat incomplete penetration	46
Gamabr 2.26	Cacat las incomplete fusion	47
Gambar 2.27	Cacat las over spatter	48

Gambar 2.28	Contoh hot crack	48
Gambar 3.1	Diagram alir penelitian	53
Gambar 3.2	Mesin las lincoln	57
Gambar 3.3	Dimensi material eksperimen	58
Gambar 3.4	Contoh alat uji radiografi	59
Gambar 3.5	Alat uji kekerasan	59
Gambar 3.6	Contoh alat uji tarik	60
Gambar 3.7	Dimensi spesimen uji tarik	60
Gambar 3.8	Alat uji bending	62
Gambar 3.9	Daerah uji sampel	62
Gambar 3.10	Alat SEM dan EDS	63
Gambar 4.1	Material A36 dan SS316 sebelum dilakukan pengelasan	67
Gambar 4.2	Proses pengelasan dan hasil pengelasan	68
Gambar 4.3	Titik pengujian kekerasan	72
Gambar 4.4	Grafik pengukuran kekerasan	73
Gambar 4.5	Spesimen uji tarik dan alat uji tarik	75
Gambar 4.6	Grafik perbandingan tegangan tarik dan tegangan ultimate	76
Gambar 4.7	Spesimen hasil pengujian tarik	76
Gambar 4.8	Tampak depan hasil uji bending	77
Gambar 4.9	Histogram hasil pengujian bending	78
Gambar 4.10	Hasil struktur mikro pada specimen 2	79
Gambar 4.11	Hasil struktur mikro pada specimen 5	81
Gambar 4.12	Hasil struktur mikro pada specimen 9	82
Gambar 4.13	Hasil rata-rata untuk kekerasan	84
Gambar 4.14	Hasil Rata-rata untuk uji Tarik	86
Gambar 4.15	Hasil Rata-rata untuk uji bending	87
Gambar 4.16	Hasil SNR untuk kekerasan	88
Gambar 4.17	Hasil SNR untuk uji tarik	90
Gambar 4.18	Hasil SNR untuk uji bending	91

DAFTAR TABEL

		Halaman	
Tabel	2.1	Spesifikasi elektoda berdasarkan standar AWS	12
Tabel	2.2	komposisi kimia baja karbon rendah	23
Tabel	2.3	Sifat mekanik baja karbon rendah	23
Tabel	2.4	Contoh orthogonal array L ₉	50
Tabel	2.5	Perhitungan untuk ANOVA	52
Tabel	3.1	Properties material A36	54
Tabel	3.2	Properties material SS316	54
Tabel	3.3	Parameter pengelasan	55
Tabel	3.4	Penetapan faktor dan level faktor	56
Tabel	3.5	Orthogonal array L ₉	56
Tabel	3.6	Spesifikasi mesin las	57
Tabel	4.1	Konfigurasi parameter pengelasan berdasarkan matriks L ₉ Metode Taguchi	65
Tabel	4.2	Tabel konfigurasi pengujian kekerasan	66
Tabel	4.3	Tabel konfigurasi pengujian tarik	66
Tabel	4.4	Tabel konfigurasi pengujian bending	67
Tabel	4.5	Hasil pengujian radiografi	69
Tabel	4.6	Hasil uji kekerasan pada material A36 dan stainless steel SS316	73
Tabel	4.7	Hasil pengujian tarik	75
Tabel	4.8	Hasil pengujian bending	78
Tabel	4.9	Matriks Orthogonal L ₉ rata-rata setelah pegujian	83
Tabel	4.10	Tabel respon untuk rata-rata pengujian kekerasan	84
Tabel	4.11	Tabel respon untuk hasil uji tarik	85
Tabel	4.12	<i>Response Table for Means</i> untuk pengujian bending	86
Tabel	4.13	<i>Response Table for Signal to Noise Ratios</i>	89
Tabel	4.14	<i>Response Table for Signal to Noise Ratio tension test</i>	90
Tabel	4.15	<i>Response Table for Signal to Noise Ratios bending test</i>	92

Tabel	4.16	General Linear Model: Kekerasan versus Jenis Elektroda, arus pengelasan, tegangan pengelasan, dan kecepatan pengelasan	93
Tabel	4.17	Perbandingan F_{Tabel} dan F_{ratio} untuk uji kekerasan	93
Tabel	4.18	General Linear Model: Uji tarik versus Jenis Elektroda, arus pengelasan, kecepatan pengelasan, dan tegangan Pengelasan	94
Tabel	4.19	Perbandingan F_{Tabel} dan F_{ratio} untuk uji tarik	95
Tabel	4.20	General Linear Model: Uji Bending versus Jenis elektroda, arus pengelasan, tegangan pengelasan, dan kecepatan pengelasan	95
Tabel	4.21	Perbandingan F_{Tabel} dan F_{ratio} untuk uji bending	96
Tabel	4.22	Parameter optimal pengelasan berdasarkan jenis pengujian	97
Tabel	4.23	Hasil konfirmasi eksperimen	100

DAFTAR ISTILAH

Istilah	Penjelasan
<i>Dissimilar welding</i>	Pengelasan yang dilakukan untuk beda material baik itu dilakukan secara SMAW, GTAW, GMAW dll
<i>SMAW</i>	Pengelasan dengan elektroda terbungkus
<i>Taguchi Methode</i>	suatu off line quality control atau suatu metode yang berprinsip pada peningkatan mutu dengan meminimalkan pengaruh dari penyebab-penyebab perubahan tanpa menghilangkan penyebab itu sendiri
Faktor Level	Alternatif nilai atau karakteristik yang terdapat pada suatu faktor
Faktor	Hal-hal yang mempengaruhi karakteristik suatu kualitas
<i>ANOVA</i>	Analisis variansi berdasarkan faktor-faktor dalam bentuk perlakuan yang diketahui oleh peneliti beserta derajat bebasnya.
<i>Destructive Test</i>	suatu pengujian material yang dilakukan dengan merusak struktur fisik dari suatu material dengan tujuan untuk mengetahui sifat-sifat material.
<i>Non destructive test</i>	suatu pengujian material yang dilakukan tanpa merusak struktur fisik material dengan tujuan untuk mengetahui cacat atau kerusakan didalam material tersebut.
<i>Radiographic testing</i>	salah satu jenis pengujian tidak merusak dengan memanfaatkan radiasi sinar gama dan sinar X.
<i>SEM</i>	salah satu alat yang berguna untuk menentukan morfologi atau topologi permukaan benda uji (spesimen) dengan bantuan detektor tertentu. Biasanya detektor yang dipergunaan adalah dengan electron Secondary Electron (SE) Image dan Backscattered Electron (BSE) Image.

**ANALISA PARAMETER PENGELASAN TIDAK SEJENIS PADA
MATERIAL ASTM A36 (SS400) DAN SS316 DENGAN PROSES
PENGELASAN SMAW**

Afriansyah⁽¹⁾, Amir Arifin⁽¹⁾, Agung Mataram⁽¹⁾

⁽¹⁾Jurusan Teknik mesin, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya, Inderalaya
30662, Ogan Ilir, Sumatera Selatan, Indonesia
Email : amir@unsri.ac.id

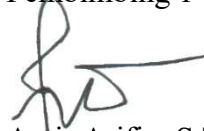
Abstrak

Pengelasan tidak sejenis (*Dissimilar Welding*) telah banyak dilakukan di dunia industri seperti industri otomotif, pembangkit listrik, nuklir, minyak dan gas bumi, dan lain sebagainya. Penelitian ini berfokus pada pengelasan tidak sejenis yang dilakukan pada material baja karbon rendah A36 dan baja autenit stainless SS316. Pengelasan dilakukan dengan berbagai parameter pengelasan dengan 4 faktor dan 3 level faktor. 4 faktor yaitu jenis elektroda, arus pengelasan, tegangan pengelasan, dan kecepatan pengelasan. Specimen yang dibuat sebanyak 9 spesimen. Setiap specimen di bagi untuk dilakukan pengujian kekerasan, pengujian tarik, dan pengujian bending. Analisa atas hasil pengujian dilakukan dengan metode Taguchi dan Anova untuk mengetahui parameter optimal dari setiap hasil pengujian. Metode *Large is better* digunakan dalam analisa Taguchi. Simulasi dengan program Minitab dilakukan untuk membantu perhitungan Taguchi dan ANOVA. Hasil pengujian tersebut lalu di konfirmasi dengan pengujian konfirmasi untuk setiap hasil pengujian. Pengujian konfirmasi menunjukkan bahwa hasil eksperimen masih dalam rentang interval nilai optimum setiap pengujian. Analisa metalografi dilakukan untuk melihat perubahan struktur mikro yang diakibatkan oleh perubahan parameter pengelasan. Pengujian struktur mikro dilakukan pada daerah logam las, daerah HAZ, dan daerah logam induk.

Kata Kunci : Pengelasan SMAW, *Dissimilar welding*, Pengujian tidak merusak, Pengujian merusak, Metode taguchi, Anova,

Palembang, Juni 2020

Menyetujui
Pembimbing 1



Amir Arifin, S.T., M.Eng., Ph.D
NIP. 197909272003121004

Pembimbing 2



Agung Mataram, S.T., M.T., Ph.D
NIP. 197901052003121002

Mengetahui
Ketua Jurusan Teknik Mesin



Irsyadi Yani, S.T., M.Eng., Ph.D.
NIP. 197112251997021001

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Fabrikasi logam adalah suatu proses produksi logam yang meliputi antara lain rekayasa (perancangan), pemotongan, pembentukan, penyambungan, perakitan atau pengerjaan akhir. Dalam istilah industri kegiatan ini mengacu pada struktur bangunan logam dengan tahapan pemotongan, pembengkokan, dan juga perakitan. Teknik fabrikasi logam biasanya didahului dengan pemurnian, paduan dan sering proses perlakuan panas yang menghasilkan paduan dengan karakteristik yang diinginkan. Klasifikasi teknik fabrikasi meliputi berbagai metode pembentukan logam, pengecoran, metalurgi serbuk, pengelasan, dan permesinan. Seringkali dua atau lebih dari metode tersebut harus digunakan sebelum bagian tertentu selesai. Metode yang dipilih tergantung pada beberapa faktor; yang paling penting adalah sifat-sifat logam, ukuran dan bentuk serta biaya (William D. Callister, Jr., 2010).

Salah satu teknik fabrikasi adalah pengelasan. Pengelasan menurut welding handbook (Brien, 2001) adalah proses yang menyebabkan antara dua logam yang berbeda menjadi satu kesatuan yang melibatkan atom yang berada di bagian tepi berdekatan dengan atom tepi yang berada pada bagian yang lain sehingga terjadi ikatan antara atom. Menurut harsono (Wiryo sumarto and Okumura, 2000) pengelasan adalah proses penyambungan setempat dari dua bagian atau lebih logam yang melibatkan pecairan setempat dengan siklus pendinginan cepat. Pada umumnya proses pengelasan dapat di gunakan untuk industri konstruksi antara lain: rel kereta api, jembatan, perkapalan, rangka baja dan lain sebagainya.

Berdasarkan proses penyambungan, pengelasan dapat dibagi menjadi pengelasan busur dengan elektroda terbungkus (SMAW), pengelasan busur

rendam (SAW), pengelasan busur gas (GMAW), pengelasan busur tungsten (GTAW) dan lain-lain. Pengelasan berdasarkan material yang di las dapat dibedakan menjadi pengelasan material yang sama (similar welding) dan pengelasan dengan material berbeda (dissimilar welding) (Schmid, 2009) .

Dissimilar welding banyak di gunakan di industri konstruksi seperti pembuatan boiler, pembuatan menara rig, pembuatan komponen otomotif dan lain sebagainya (Khair and Redzuan, 2018). Pada prinsipnya, *dissimilar welding* menggunakan logam dasar yang berbeda kandungan di dalamnya seperti contoh pengelasan antara material stainless steel dan baja karbon atau antara material duplek dan baja karbon (Mohammed et al., 2018). Tujuan *dissimilar welding* adalah untuk menyatukan beberapa sifat logam sehingga menurunkan biaya material dan meningkatkan kehandalan peralatan (Dhaliwal et al., 2016) Penelitian tentang *dissimilar welding* sudah banyak di lakukan oleh peneliti. Menurut Dewin Purnama et.al (Purnama and Oktadinata, 2019) bahwa pengelasan logam yang berbeda melibatkan jenis logam yang berbeda yang mempunyai perbedaan komposisi kimia, sifat mekanik dan *thermal*. Mereka melakukan penelitian tentang pengaruh dari *filler metal* dan gas pelindung terhadap mikrostruktur dari SS304 dan SS400 dengan sistem pengelasan GMAW dan FCAW.

Sifat dari tiga logam harus di pertimbangkan dalam pengelasan beda logam (*Dissimilar welding*) yaitu dua logam yang di sambung dan logam pengisi (*filler metal*) untuk menyatukan keduanya (Avery, 1991). Proses pengelasan untuk pengelasan beda logam antara lain *fusion welds*, *Low dilution*, and *nonfusion joining*. Dari ketiga proses tersebut, hanya *fusion welds* yang sering di gunakan di bidang industry. Yang termasuk *fusion welds* antara lain: SMAW, GTAW, SAW, and FCAW.

Penelitian tentang pengelasan beda logam (*dissimilar welding*), banyak peneliti melakukan penelitian mengenai komposisi logam las, pengaruh kondisi pemakaian, sifat mekanik, sifat fisik, ketahanan terhadap korosi atau oksidasi (Benlamnour et al., 2014; Poonnayom et al., 2015; Shahid et al., 2015). Material yang sering digunakan untuk penelitian ini antara lain martensit stainless steel

dengan baja stainless austenit, duplex stainless steel dengan baja karbon, baja austenite dengan Inconel, dan baja austenit dengan titanium.

Peneliti menggunakan metode Taguchi untuk mengetahui parameter utama yang berpengaruh pada proses pengelasan (Ghosh et al., 2017b). Pada dasarnya, metode Taguchi banyak di gunakan untuk penelitian diberbagai bidang misalnya *injection molding* (Oktem et al., 2007), proses sintering (Ji et al., 2001), pembuatan fly ash (Prasetya et al., 2013), dan lain sebagainya. Selain itu metode Taguchi, dapat juga di gunakan metode *artificial neural networks* (ANN) (Nagesh and Datta, 2002).

Pada penelitian ini, penulis akan membahas tentang pengelasan beda logam (dissimilar welding) antara baja karbon rendah dengan *austenite stainless steel* dengan menggunakan metode SMAW dilengkapi dengan metode Taguchi dan struktur mikro. Penelitian tentang hal ini masih belum banyak di lakukan.

1.2 Rumusan Masalah

Pengelasan terhadap material tidak sejenis masih merupakan tantangan di dunia industri dan masih belum banyak di investigasi lebih lanjut terutama untuk material baja karbon rendah dan austenitic stainless steel. Material baja karbon rendah dan austenite stainless steel banyak dipilih karena banyak digunakan di industry khusus untuk material ASTM A36 merupakan produk dari Krakatau steel. Baja karbon rendah merupakan material kontruksi yang mempunyai sifat ulet tetapi tidak tahan korosi sedangkan austenite stainless steel adalah material sering di gunakan di industry karena sifanya yang tahan korosi, dapat di fabrikasi, mempunyai sifat mekanik yang tahan temperatur tinggi. Untuk system pengelasan yang dgunakan adalah proses pengelasan SMAW dimana proses pengelasan ini banyak digunakan di industry seperti konstruksi, power plant, pabrik dan sebagainya karena mudah untuk di operasikan dan lebih efisien.

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah agar pembahasan dalam tesis ini tidak melebar sehingga lebih terarah dan terfokus yaitu

1. Dissimilar welding pada material baja karbon dan stainless steel
2. Analisa parameter pengelasan menggunakan metode Taguchi dengan menggunakan *orthogonal array L9* untuk optimalisasi parameter pengelasan.
3. Analisa kekerasan daerah lasan, *HAZ*, *Base metal* menggunakan metode Brinnel atau vicker.
4. Analisa sifat mekanik daerah lasan menggunakan uji Tarik dan uji Bending.
5. Analisa struktur mikro daerah lasan dengan menggunakan peralatan SEM (*scanning electron microscopy*) dan analisa fase menggunakan EDS (Energy Dispersed Spectroscopy).

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian pada tesis ini adalah sebagai berikut.

1. Menginvestigasi parameter pengelasan yang optimal untuk *dissimilar welding* dengan menggunakan material baja karbon dan stainless steel.
2. Menganalisa kualitas sambungan melalui sifat mekanik, struktur mikro dan kekerasan di daerah lasan akibat dari pengelasan beda logam (*dissimilar welding*).

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian mengenai pengaruh parameter pengelasan dari *dissimilar welding Stainless steel AISI 316* dan Baja karbon *ASTM A36* ini diharapkan akan memiliki manfaat berupa:

1. Sebagai kontribusi untuk perkembangan ilmu pengelasan di dibidang *dissimilar welding*.
2. Dapat memberikan wawasan dan pengetahuan mengenai pengaruh parameter pengelasan agar di dapat parameter yg optimum untuk *dissimilar welding*.
3. Menjadi referensi untuk penelitian selanjutnya dalam pengembangan *dissimilar welding* untuk kedepannya.

DAFTAR RUJUKAN

- Ajith Raj, R., Dev Anand, M., 2018. Modeling and prediction of mechanical strength in Electron Beam Welded Dissimilar metal joints of stainless steel 304 and Copper using Grey relation analysis. *International Journal of Engineering and Technology(UAE)*, 7 (3): 198–201. <https://doi.org/10.14419/ijet.v7i3.6.14969>
- Allou, D., Miroud, D., Cheniti, B., Belkessa, B., Ouadah, M., 2018. Mechanical and Electrochemical Properties of AISI4130/Austenitic Steels Dissimilar Welded Joints. *Diffusion Foundations*, 18 65–72. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/df.18.65>
- American Society for Testing and Material, 1997. ASTM A36 Standard Based on ASTM E695. *ASTM E695:Standard Method of Measuring Relative Resistance of Wall, Floor, and Roof Construction to Impact Loading*, 552 (1): 203.
- ASTM E8, 2010. ASTM E8/E8M standard test methods for tension testing of metallic materials 1. *Annual Book of ASTM Standards 4*, i (C): 1–27. <https://doi.org/10.1520/E0008>
- Avery, R.E., 1991. Pay attention to dissimilar-metal welds-Guidelines for welding dissimilar metals. *Nickel Development Institute - NiDI Reprint Series* (14 018): 8.
- Baharin, S., Noor, M.M., Kadir, S.K.A., Ahmad, K.R., 2014. Mechanical Properties of Dissimilar Welds Between Stainless Steel and Mild Steel (September). <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.795.74>
- Benlamnouar, M.F., Industrial, I., Badji, R., Industrial, I., Mohamed, H., 2014. Effect of heat input variation on microstructure and mechanical behavior of SMAW welded super duplex joints Effect of heat input variation on microstructure and mechanical behavior of SMAW welded super duplex joints (September 2019).
- Biswas, A.R., Chakraborty, S., Ghosh, P.S., Bose, D., 2018. Study of Parametric

- Effects on Mechanical Properties of Stainless Steel (AISI 304) and Medium Carbon Steel (45C8) Welded Joint Using GMAW. *Materials Today: Proceedings*, 5 (5): 12384–12393.
<https://doi.org/10.1016/j.matpr.2018.02.217>
- Brien, A.O., 2004. *Welding Handbook*, Ninth Edit. ed. American Welding Society.
- Brien, A.O., 2001. *Welding Handbook*, ninth edit. ed. American Welding Society.
- Chuaiphan, W., Srijaroenpramong, L., 2019. Optimization of gas tungsten arc welding parameters for the dissimilar welding between AISI 304 and AISI 201 stainless steels. *Defence Technology*, 15 (2): 170–178.
<https://doi.org/10.1016/j.dt.2018.06.007>
- Committee, A., 2017. Brinell Hardness of Metallic Materials 1, in: ASTM International, West Conshohocken, PA, 2017, [Www.Astm.Org](http://www.Astm.Org). pp. 1–32.
<https://doi.org/10.1520/E0010-17.2>
- Dhaliwal, N.P.S., Mittal, R., Gill, S., Khullar, P., 2016. Comparative evaluation of impact strength of dissimilar metal weld between T91 and 304SS prepared by SMAW and GTAW techniques. *Indian Journal of Science and Technology*, 9 (39). <https://doi.org/10.17485/ijst/2016/v9i39/101403>
- Fazli, T., Erizon, N., Adri, J., 2018. Experimental Test of Annealing Process on SMAW at Low Carbon Steel Toughness. 1 (1): 32–35.
- Foroughi, A., Shamanian, M., Kasiri-Asgarani, M., Kangazian, J., 2018. Investigations on Dissimilar Weld of UNS S32205 DSS and ASTM A517 Steel. *Transactions of the Indian Institute of Metals*, 71 (3): 533–544.
<https://doi.org/10.1007/s12666-017-1186-7>
- Ghosh, N., Kumar Pal, P., Nandi, G., 2017a. Parametric Optimization of Gas metal arc welding process by PCA-based Taguchi method on Ferritic stainless steel AISI409. *Materials Today: Proceedings*, 4 (9): 9961–9966.
<https://doi.org/10.1016/j.matpr.2017.06.302>
- Ghosh, N., Pal, P.K., Nandi, G., 2017b. GMAW dissimilar welding of AISI 409 ferritic stainless steel to AISI 316L austenitic stainless steel by using AISI 308 filler wire. *Engineering Science and Technology, an International*

- Journal*, 20 (4): 1334–1341. <https://doi.org/10.1016/j.jestch.2017.08.002>
- Habibpour, N., Shafyei, A., Najafabadi, R.A., Meysami, A., 2017. Effects of post-weld heat treatment temperature on the microstructure and mechanical properties of welded A517-Gr.B steel by SMAW method. *Metallurgical Research and Technology*, 114 (3): 1–6. <https://doi.org/10.1051/metal/2017032>
- Hardness, A.B., Hardness, V., Hardness, R.S., Hard-, K., Hardness, S., 2006. Standard Test Method for Vickers Hardness of Metallic Materials 1. 82 (Reapproved 2003): 1–9.
- Jenney, C.L., O'Brien, A., 1991. Welding Handbook_Volume 1_WELDING SCIENCE AND TECHNOLOGY. *American Welding Society*, 1 982. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Ji, C.H., Loh, N.H., Khor, K.A., Tor, S.B., 2001. Sintering study of 316L stainless steel metal injection molding parts using Taguchi method: Final density. *Materials Science and Engineering A*, 311 (1–2): 74–82. [https://doi.org/10.1016/S0921-5093\(01\)00942-X](https://doi.org/10.1016/S0921-5093(01)00942-X)
- Karthick, K., Malarvizhi, S., Balasubramanian, V., Krishnan, S.A., Sasikala, G., Albert, S.K., 2017. Tensile properties of shielded metal arc welded dissimilar joints of nuclear grade ferritic steel and austenitic stainless steel. *Journal of the Mechanical Behavior of Materials*, 25 (5–6): 171–178. <https://doi.org/10.1515/jmbm-2017-0005>
- Khair, K.A., Redzuan, N.H., 2018. Characterization of Dissimilar Materials Joining using Gas Metal Arc Welding (December): 11–16.
- Kimapong, K., Triwanapong, S., 2018. Microstructure and bending strength of dissimilar SS400/SUS304 steels T-fillet joint by gas metal arc welding. *Key Engineering Materials*, 773 KEM 189–195. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.773.189>
- Kumar, S., Gupta, E.D., 2017. Optimization of Submerged Arc Welding Parameters for Joining Dissimilar Materials Using Taguchi Method. *IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering*, 14 (01): 51–54. <https://doi.org/10.9790/1684-1401035154>
- Manikandan, M., Gunachandran, R., Vigneshwaran, M., Sudhakar, S., Srikanth,

- A., Venkateshkannan, M., Arivarasu, M., Arivazhagan, N., Rajan, D.N., 2017. Comparative Studies on Metallurgical and Mechanical Properties of Bimetallic Combination on Incoloy 800 and SS 316L Fabricated by Gas Metal and Shield Metal Arc Welding. *Transactions of the Indian Institute of Metals*, 70 (3): 749–757. <https://doi.org/10.1007/s12666-017-1087-9>
- Meco, S., Pardal, G., Ganguly, S., Williams, S., McPherson, N., 2015. Application of laser in seam welding of dissimilar steel to aluminium joints for thick structural components. *Optics and Lasers in Engineering*, 67 22–30. <https://doi.org/10.1016/j.optlaseng.2014.10.006>
- Mohammadpour, M., Yazdian, N., Yang, G., Wang, H.P., Carlson, B., Kovacevic, R., 2018. Effect of dual laser beam on dissimilar welding-brazing of aluminum to galvanized steel. *Optics and Laser Technology*, 98 214–228. <https://doi.org/10.1016/j.optlastec.2017.07.035>
- Mohammed, R., Dilkush, Srinivasa Rao, K., Madhusudhan Reddy, G., 2018. Studies on microstructure, mechanical and pitting corrosion behaviour of similar and dissimilar stainless steel gas tungsten arc welds. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 330 (1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/330/1/012028>
- Nagesh, D.S., Datta, G.L., 2002. Prediction of weld bead geometry and penetration in shielded metal-arc welding using artificial neural networks. *Journal of Materials Processing Technology*, 123 (2): 303–312. [https://doi.org/10.1016/S0924-0136\(02\)00101-2](https://doi.org/10.1016/S0924-0136(02)00101-2)
- Oktem, H., Erzurumlu, T., Uzman, I., 2007. Application of Taguchi optimization technique in determining plastic injection molding process parameters for a thin-shell part. *Materials and Design*, 28 (4): 1271–1278. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2005.12.013>
- Osoba, L., Ekpe, I., Elemuren, R., 2015. ANALYSIS OF DISSIMILAR WELDING OF AUSTENITIC STAINLESS STEEL TO (October).
- Poonayom, P., Chantasri, S., Kaewwichit, J., Roybang, W., Kimapong, K., 2015. Microstructure and Tensile Properties of SS400 Carbon Steel and SUS430 Stainless Steel Butt Joint by Gas Metal Arc Welding. *The International Journal of Advanced Culture Technology*, 3 (1): 61–67.

- <https://doi.org/10.17703/ijact.2015.3.1.61>
- Pourali, M., Abdollah-zadeh, A., Saeid, T., Kargar, F., 2017. Influence of welding parameters on intermetallic compounds formation in dissimilar steel/aluminum friction stir welds. *Journal of Alloys and Compounds*, 715 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2017.04.272>
- Pouranvari, M., Marashi, S.P.H., 2011. Dissimilar spot welds of AISI 304/AISI 1008: Metallurgical and mechanical characterization. *Steel Research International*, 82 (12): 1355–1361. <https://doi.org/10.1002/srin.201100139>
- Prasetya, C., Rahman, A., Efranto, R.Y., 2013. Analisa Desain Eksperimen Pembuatan Batako Berbahan Alternatif Lumpur Lapindo dan Fly Ash dengan Metode Taguchi. *Jurnal Rekayasa dan Manajemen Sistem Industri*, 1 (1): 57–65.
- Purnama, D., Oktadinata, H., 2019. Effect of Shielding Gas and Filler Metal to Microstructure of Dissimilar Welded Joint between Austenitic Stainless Steel and Low Carbon Steel. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 547 (1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/547/1/012003>
- Robert C. Tucker, J., Stanley C. Theobald, 2013. Metals -- Mechanical Testing ; Elevated and Low-Temperature Tests ; Metallography Table of Contents Standard Number ASTM Volume 03 . 01 , July 2013 Metals -- Mechanical Testing ; Elevated and Low-Temperature Tests ; Metallography Table of Contents. pp. 11–14.
- Rockwell hardness, 2016. ASTM E18 – 16 Standard Test Methods for Rockwell Hardness of Metallic Materials. *American Society for Testing and Materials* 1–38. <https://doi.org/10.1520/E0018-16>
- Rossini, M., Spina, P.R., Cortese, L., Matteis, P., Firrao, D., 2015. Investigation on dissimilar laser welding of advanced high strength steel sheets for the automotive industry. *Materials Science and Engineering A*, 628 288–296. <https://doi.org/10.1016/j.msea.2015.01.037>
- Sadeghi, B., Sharifi, H., Rafiei, M., Abbasian, A.R., Saebnoori, E., 2019. Microstructural, mechanical and corrosion properties of dissimilar joint between AISI A321 stainless steel and ASTM A537CL1 structural steel produced by GTAW process. *Metallurgical Research and Technology*, 116

- (4): 1–11. <https://doi.org/10.1051/metal/2019012>
- Schmid, S.R., 2009. MANUFACTURING ENGINEERING, Sixth edit. ed. Prentice Hall.
- Shahid, F., Ali Khan, A., Hameed, Ms., 2015. Mechanical and Microstructural Analysis of Dissimilar Metal Welds. *Ijrras*, 25 (1).
- Taylor, K.J., 2017. A Review Paper on Effects of Vibration on Mechanical Properties and Defect of Similar and Dissimilar Weld Joints in TIG Welding. 4 (2): 170–174.
- Verma, J., Taiwade, R.V., 2016. Dissimilar welding behavior of 22% Cr series stainless steel with 316L and its corrosion resistance in modified aggressive environment. *Journal of Manufacturing Processes*, 24 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2016.07.001>
- Verma, J., Taiwade, R.V., Khatirkar, R.K., Kumar, A., 2016. A comparative study on the effect of electrode on microstructure and mechanical properties of dissimilar welds of 2205 austeno-ferritic and 316L austenitic stainless steel. *Materials Transactions*, 57 (4): 494–500. <https://doi.org/10.2320/matertrans.M2015321>
- Verma, J., Taiwade, R.V., Khatirkar, R.K., Sapate, S.G., Gaikwad, A.D., 2017. Microstructure, Mechanical and Intergranular Corrosion Behavior of Dissimilar DSS 2205 and ASS 316L Shielded Metal Arc Welds. *Transactions of the Indian Institute of Metals*, 70 (1): 225–237. <https://doi.org/10.1007/s12666-016-0878-8>
- Wang, P., Chen, X., Pan, Q., Madigan, B., Long, J., 2016. Laser welding dissimilar materials of aluminum to steel: an overview. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 87 (9–12): 3081–3090. <https://doi.org/10.1007/s00170-016-8725-y>
- William D. Callister, Jr., D.G.R., 2010. Materials Science and Engineering an Introduction, Materials Science and Engineering an Introduction. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Wiryosumarto, H., Okumura, T., 2000. Teknologi Pengelasan Logam.
- Zheng, Q., Feng, X., Shen, Y., Huang, G., Zhao, P., 2016. Dissimilar friction stir welding of 6061 Al to 316 stainless steel using Zn as a filler metal. *Journal*

of Alloys and Compounds, 686 693–701.
<https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2016.06.092>