



**UNIVERSITAS DIPONEGORO**

**OPTIMASI VARIASI BENTUK ELEKTRODA DAN PARAMETER  
PENGELASAN TERHADAP SIFAT MEKANIK HASIL  
PENGELASAN TITIK PADA BAJA KARBON RENDAH  
MENGUNAKAN METODE TAGUCHI**

**TUGAS AKHIR**

**RUMAJUNG FAMMA  
NIM. L2E008094**

**FAKULTAS TEKNIK  
JURUSAN TEKNIK MESIN**

**SEMARANG  
DESEMBER 2012**

## HALAMAN TUGAS AKHIR

- Diberikan Kepada : Nama : Rumajung Famma  
NIM : L2E008094
- Dosen Pembimbing : Dr. Rusnaldy, ST, MT.
- Jangka Waktu : 6 ( enam) bulan
- Judul : **Optimasi Variasi Bentuk Elektroda dan Parameter Pengelasan terhadap Sifat Mekanik Hasil Pengelasan Titik pada Baja Karbon Rendah Menggunakan Metode Taguchi**
- Isi Tugas : Membahas hubungan antara variasi bentuk elektroda dan parameter pengelasan pada kekuatan sambungan las serta struktur mikro las hasil pengelasan titik pada baja karbon rendah dengan melakukan:
1. Menyetarakan bahan plat baja yang dilas.
  2. Membuat benda uji hasil las titik pada variasi bentuk elektroda dan parameter pengelasan.
  3. Uji kekerasan pada sambungan las titik dan membahas kekerasan mikro sambungan las dengan menghubungkan variasi parameter pengelasan.
  4. Uji tarik pada sambungan las titik dan membahas struktur mikro sambungan las dengan menghubungkan variasi parameter pengelasan.

Semarang, 13 Desember 2012


Pembimbing



Dr. Rusnaldy, ST, MT.  
NIP. 197005201999031002

## HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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



NAMA : Rumajung Famma  
NIM : L2E008094  
Tanda Tangan :   
Tanggal : 13 Desember 2012

## HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :  
Nama : Rumajung Famma  
NIM : L2E008094  
Jurusan/ Program Studi : Teknik Mesin  
Judul Skripsi : Optimasi Variasi Bentuk Elektroda dan Parameter  
Pengelasan terhadap Sifat Mekanik Hasil Pengelasan  
Titik pada Baja Karbon Rendah Menggunakan Metode  
Taguchi


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

### TIM PENGUJI

Pembimbing	: Dr. Rusnaldy, ST, MT	(  )
Penguji	: Dr. Sulardjaka, ST, MT	(  )
Penguji	: Ir. Sugiyanto, DEA	(  )
Penguji	: Dr. MSK. Tony Suryo, ST, MT	(  )

Semarang, 13 Desember 2012

Ketua Jurusan Teknik Mesin



Dr. Sulardjaka, ST, MT

NIP. 197104201998021001

## **HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

---

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

Nama : Rumajung Famma  
NIM : L2E008094  
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 :

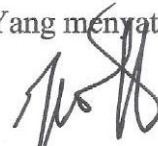
### **OPTIMASI VARIASI BENTUK ELEKTRODA DAN PARAMETER PENGELASAN TERHADAP SIFAT MEKANIK HASIL PENGELASAN TITIK PADA BAJA KARBON RENDAH MENGGUNAKAN METODE TAGUCHI**

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 : 13 Desember 2012

Yang menyatakan



Rumajung Famma  
NIM. L2E008094

## HALAMAN PERSEMBAHAN

### MOTTO

“I AM WHO I AM”

*Jangan hanya memikirkan hasil, proses dan awalan juga harus dipertimbangkan. Tanpa kemauan untuk memulai serta proses yang maksimal hasil menjadi tidak berarti*

*Menyalahkan orang lain menunjukkan kelemahan kita sendiri”*

*“Akhir merupakan kata untuk sebuah awal yang baru”*

**Karya ini ku persembahkan untuk :**

*Kedua Orang Tuaku (Mahyu Edi dan Yasmaniar)*

*Kakak-kakakku (Nova Putri Yasayu Famma, Fabio Agus Famma, Niko Defamma, Riva Idil Had Famma, Putri Maya Famma) dan Adikku (Akhfa Fatwa Famma).*

*Sahabat yang selalu menemani dalam susah dan senang Muhammad Dzulfikar, Gunadi Wijoyo, Achmad Ridwan Hakiki, Ilham Muhammad Yusuf, Saepudin, Riski Kurniawan, Rudi Prawiro, Nursofyan, Dicky Igus Suparno, Muhamad Endri Afandi  
serta*

**SAUDARA-SAUDARI MESIN ANGKATAN 2008**

## ABSTRAK

Las titik biasa ditemukan di industri karoseri. Biasanya kualitas hasil las hanya dilihat secara visual dari kerapian dan ada atau tidaknya retak. Ketidakrapian ataupun terjadinya retak disebabkan oleh kombinasi dari parameter pengelasan yang tidak cocok. Salah satu parameter pengelasan yang paling berpengaruh adalah bentuk elektroda. Untuk itu perlu dilakukan kajian lebih lanjut untuk menemukan pengaruh bentuk elektroda dan parameter pengelasan terhadap hasil pengelasan serta menemukan kombinasi parameter pengelasan terbaik.

Perancangan percobaan yang digunakan untuk mencari parameter yang terbaik adalah dengan metode Taguchi, metode ini dapat menghemat biaya dan waktu penelitian. Dalam penelitian ini bentuk elektroda yang digunakan adalah B-Nose, parabola dan E-Nose dengan bahan dasar tembaga. Parameter yang digunakan adalah arus 2000 A, 6000 A, dan 10000 A, waktu pengelasan 1 detik, 5 detik, dan 10 detik, jarak pengelasan 15 mm, 20 mm, dan 25 mm. Untuk mengetahui kualitas hasil las dilakukan pengujian sifat mekanik dan mikrografi. Pengujian sifat mekanik meliputi pengujian kekerasan dengan metode Rockwell, pengujian kekuatan sambungan las dengan pengujian tarik geser.

Kombinasi optimal antara arus, waktu, jarak pengelasan, serta bentuk elektroda dari hasil analisa menunjukkan untuk daerah *weld metal* struktur mikro terdiri dari bainit dengan kekerasan terbaik sebesar 56,33 HRA dengan parameter arus listrik 6000 A, waktu pengelasan 5 detik, jarak *nugget* 20 mm, bentuk elektroda parabola. Untuk daerah HAZ struktur mikro terdiri dari ferit dan perlit dengan kekerasan terbaik sebesar 33,75 HRA dengan parameter arus listrik 10000 A, waktu pengelasan 10 detik, jarak *nugget* 25 mm, bentuk elektroda E-Nose. Sedangkan, uji tarik kekuatan sambungan terbaik sebesar 9 kN dengan parameter arus listrik 10000 A, waktu pengelasan 5 detik, jarak *nugget* 25 mm, bentuk elektroda E-Nose.

Kata Kunci : las titik, bentuk elektroda, uji kekerasan, struktur mikro, metode Taguchi.

## **ABSTRACT**

*Commonly, spot welding found in the industry body of a car. Usually the quality of weld is only seen visually from neatness and the presence or absence of cracks. Untidiness or cracking caused by a combination of welding parameters that do not match. One of the most influential welding parameter was electrode shape. It is necessary for further study to find the effect of electrodes shape and welding parameters on the welding results and find the best combination of welding parameters.*

*The method used is Taguchi method, this method can save the cost and time of research. In this study form the electrodes used were B-Nose, parabola and E-Nose with copper base material. The parameters used are the current 2000 A, 6000 A, and 10000 A, the welding time 1 second, 5 seconds, and 10 seconds, the nugget distance 15 mm, 20 mm, and 25 mm. Testing the mechanical properties and micrograph to know the quality of the weld. Testing of mechanical properties include Rockwell hardness testing methods, testing the strength of welded joints with tensile shear testing.*

*Optimal combination between current, time, distance welding, as well as the shape of the analysis indicate electrodes for weld metal regions microstructure consists of bainite with a best of 56.33 HRA hardness with parameter 6000 A current, 5 seconds welding time, 20 mm nugget distance, parabola electrode shape. For areas HAZ microstructure consists of ferrite and pearlite with a best of 33.75 HRA hardness with parameters 10000 A current, 10 seconds welding time, 25 mm nugget distance, E-Nose electrode shape. Meanwhile, tensile strength best connection equal to 9 kN with the parameter 10000 A current, 5 seconds welding time, 25 mm nugget distance, E-Nose electrode shape.*

*Keywords: spot welding, electrode shape, hardness test, microstructure, Taguchi method.*



## KATA PENGANTAR

*Alhamdulillahirobbil'alamin.* Puji syukur senantiasa penulis ucapkan kehadiran Allah *Subhanahu Wa Ta'ala* yang tiada hentinya mencurahkan rahmat dan hidayah-Nya, sehingga dengan segala karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan tugas akhir dengan judul ” **Optimasi Variasi Bentuk Elektroda dan Parameter Pengelasan terhadap Sifat Mekanik Hasil Pengelasan Titik pada Baja Karbon Rendah Menggunakan Metode Taguchi**” ini. Shalawat dan salam semoga selalu tercurah kepada panutan kita Rasulullah Muhammad SAW.

Pada kesempatan ini, dengan segala kerendahan hati penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada:

1. Dr. Rusnaldy, ST, MT. selaku dosen pembimbing yang telah membimbing penulis dengan penuh kesabaran dalam menyelesaikan penyusunan Tugas Akhir ini.
2. Mas Arnes selaku teknisi Laboratorium Proses Produksi dan Mas Wahyu selaku Laboratorium Metalurgi Fisik Teknik Mesin Undip yang selalu memberikan bantuan baik pikiran maupun tenaga.
3. Andriyan Eko Cahyono selaku teman kerja Tugas Akhir yang selalu mendukung dan memotivasi sehingga Tugas Akhir selesai pada waktunya.

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 dapat memberikan manfaat bagi penulis dan juga kepada orang lain.

Semarang, 13 Desember 2012

Penulis

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	ii
<b>HALAMAN TUGAS AKHIR</b> .....	iii
<b>HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS</b> .....	iv
<b>HALAMAN PENGESAHAN</b> .....	v
<b>HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI</b> .....	vi
<b>HALAMAN PERSEMBAHAN</b> .....	vii
<b>ABSTRAK</b> .....	viii
<b>ABSTRACT</b> .....	ix
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	x
<b>DAFTAR ISI</b> .....	xi
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xv
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xvii
<b>NOMENKLATUR</b> .....	xix
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	1
1.1 LATAR BELAKANG PERMASALAHAN.....	1
1.2 TUJUAN PENELITIAN .....	2
1.3 BATASAN MASALAH .....	2
1.4 METODE PENELITIAN.....	3
1.5 SISTEMATIKA PENULISAN .....	3
<b>BAB II DASAR TEORI</b> .....	5
2.1 PENGELASAN LOGAM.....	5
2.2 LAS TITIK.....	5
2.3 PARAMETER PENGELASAN .....	8
2.3.1 Arus Listrik .....	8
2.3.2 Waktu Pengelasan.....	9
2.3.3 Tahanan Listrik.....	10
2.3.4 Gaya Tekan Elektroda .....	11

2.4	ELEKTRODA LAS TITIK.....	12
2.4.1	Spesifikasi Elektroda .....	12
2.4.2	Pengujian Konduktivitas.....	14
2.5	SIFAT MAMPU LAS BAJA KARBON RENDAH.....	16
2.6	METALURGI PENGELASAN .....	19
2.6.1	Diagram Fasa .....	19
2.6.2	Diagram <i>Continous Cooling Transformation</i> .....	20
2.7	KUALITAS HASIL PENGELASAN.....	22
2.7.1	Uji Kekerasan .....	22
2.7.2	Uji Tarik.....	24
2.7.3	Uji Mikrografi.....	27
2.8	Pengenalan Metode Taguchi .....	29
2.8.1	Tahap Perencanaan .....	30
2.8.2	Tahap Pelaksanaan Eksperimen .....	32
2.8.3	Tahap Analisa .....	32
<b>BAB III</b>	<b>METODELOGI PENELITIAN.....</b>	<b>38</b>
3.1	Diagram Alir Penelitian .....	38
3.2	Material dan Alat Penelitian.....	40
3.2.1	Material Penelitian.....	40
3.2.2	Alat Penelitian .....	41
3.2.3	Pengujian Konduktivitas Elektroda.....	43
3.3	Variabel Penelitian .....	44
3.3.1	Variabel Bebas .....	44
3.3.2	Variabel Terikat .....	45
3.4	Desain Percobaan Metode Taguchi .....	45
3.5	Pengelasan Titik .....	47
3.5.1	Persiapan.....	47
3.5.2	Pelaksanaan.....	47
3.5.3	Prosedur .....	47

3.6	PENGUJIAN KEKERASAN.....	48
3.6.1	Peralatan Pengujian .....	48
3.6.2	Prosedur Pengujian .....	49
3.7	PENGUJIAN TARIK.....	51
3.7.1	Peralatan Pengujian .....	51
3.7.2	Prosedur Pengujian .....	52
3.8	PENGUJIAN MIKROGRAFI .....	53
3.8.1	Peralatan dan Bahan .....	53
3.8.2	Prosedur Pengujian .....	55
3.8.3	Proses <i>Mounting</i> dan Etsa .....	55
<b>BAB IV</b>	<b>HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>58</b>
4.1	UJI KONDUKTIVITAS LISTIK .....	58
4.1.1	Hasil.....	58
4.1.2	Pembahasan .....	58
4.2	DATA PENGUKURAN KEKERASAN DAN UJI TARIK .....	59
4.3	PENGARUH LEVEL DARI FAKTOR TERHADAP NILAI KEKERASAN DAN NILAI KEKUATAN SAMBUNGAN LAS .....	59
4.3.1	Analisa Varian (ANOVA) Kekerasan dan Uji Tarik.....	61
4.3.2	Prediksi serta Interval Kepercayaan dari Nilai Kekerasan dan Kekuatan Sambungan Las .....	64
4.4	ANALISA <i>SIGNAL TO NOISE RATIO</i> (RASIO S/N).....	65
4.4.1	Analisa Varian (ANOVA) Rasio S/N Pada Nilai Kekerasan dan Kekuatan Sambunga Las .....	69
4.4.2	Prediksi Rasio S/N Nilai Kekerasan dan Kekuatan Sambungan Las.....	72
4.5	PEMBAHASAN .....	73

4.6 HASIL EKSPERIMEN PENGUJIAN KEKERASAN DAN KEKUATAN TARIK DENGAN PARAMETER OPTIMAL.....	76
4.6.1 Pengujian Kekerasan Daerah <i>Weld Metal</i> .....	76
4.6.2 Pengujian Mikrografi Daerah <i>Weld Metal</i> .....	76
4.6.3 Pengujian Kekerasan Daerah HAZ.....	77
4.6.4 Pengujian Mikrografi Daerah HAZ.....	78
4.6.5 Pengujian Kekuatan Sambungan Las .....	79
4.6.6 Pengujian Mikrografi Kekuatan Sambungan Las.....	79
<b>BAB V PENUTUP</b> .....	85
5.1 KESIMPULAN .....	85
5.2 SARAN .....	85

**DAFTAR PUSTAKA**

**LAMPIRAN**

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Las resistansi titik .....	5
Gambar 2.2	Daerah terbentuknya <i>nugget</i> .....	6
Gambar 2.3	Tampak melintang sambungan las untuk pengambilan gambar mikro	7
Gambar 2.4	Pengaruh waktu pengelasan terhadap distribusi temperatur .....	9
Gambar 2.5	Tahapan siklus pengelasan titik.....	11
Gambar 2.6	Berbagai bentuk geometris elektroda .....	13
Gambar 2.7	<i>Spot welding fusion</i> .....	14
Gambar 2.8	Spektrum konduktivitas listrik dan resistivitas.....	14
Gambar 2.9	Plot dari waktu pengelasan terhadap arus sekunder pengelasan untuk menentukan kemampuan untuk baja dengan ketebalan 0,8 mm Parameter elektroda: penekanan, 1,8 kN, diameter tip 5,0 mm .....	18
Gambar 2.10	Efek dari elektroda RSW jenis <i>Gun</i> dengan umur elektroda untuk baja yang dipilih .....	19
Gambar 2.11	Diagram fasa baja karbon.....	20
Gambar 2.12	(a) Diagram CCT baja karbon rendah .....	21
	(b) Diagram CCT pembentukan bainit pada baja karbon rendah.....	21
Gambar 2.13	Benda kerja bertambah panjang $\Delta L$ ketika diberi beban $P$ .....	24
Gambar 2.14	Kurva umum tegangan - regangan hasil uji tarik .....	26
Gambar 2.15	Struktur mikro ferit (perbesaran 200 $\times$ ).....	27
Gambar 2.16	Struktur mikro perlit (perbesaran 200 $\times$ ).....	28
Gambar 2.17	Struktur bainit (perbesaran 200 $\times$ ).....	28
Gambar 3.1	Diagram alir penelitian .....	39
Gambar 3.2	Plat baja karbon rendah AISI 1015 .....	40
Gambar 3.3	Dimensi plat.....	44
Gambar 3.4	Mesin las titik TECHNA .....	45
Gambar 3.5	As tembaga .....	46
Gambar 3.6	Berbagai bentuk geometri elektroda (a) E-Nose, (b) B-Nose, dan (c) Parabola .....	46
Gambar 3.7	Dimensi elektroda.....	46

Gambar 3.8	Miliohm Meter.....	47
Gambar 3.9	Diagram alir pengujian konduktivitas listrik.....	48
Gambar 3.10	(a) Rockwell <i>Hardness Tester</i> Model HR 150-A, (b) indentor.....	48
Gambar 3.11	Diagram alir pengujian kekerasan .....	50
Gambar 3.12	Tempat pengambilan uji kekerasan .....	51
Gambar 3.13	<i>Universal Testing Machine</i> .....	51
Gambar 3.14	Dimensi spesimen untuk pengujian tarik .....	52
Gambar 3.15	Diagram alir pengujian kekerasan .....	53
Gambar 3.16	Benda uji.....	54
Gambar 3.17	<i>Optical microscope</i> .....	54
Gambar 3.18	Garis potongan lasan .....	56
Gambar 3.19	Potongan A-A tampak melintang sambungan las untuk pengambilan gambar mikro.....	56
Gambar 3.20	Diagram alir pengamatan struktur mikro .....	57
Gambar 4.1	Grafik respon kekerasan daerah <i>weld metal</i> , <i>HAZ</i> , dan <i>base metal</i> .....	74
Gambar 4.2	Grafik rasio S/N kekerasan pada daerah <i>weld metal</i> , <i>HAZ</i> , dan <i>base metal</i> .....	74
Gambar 4.3	Grafik respon nilai uji tarik .....	75
Gambar 4.4	Grafik rasio S/N kekuatan tarik.....	75
Gambar 4.5	Struktur mikro daerah <i>weld metal</i> (perbesaran 200×) parameter (a) maksimum (b) minimum (nilai kekerasan) .....	76
Gambar 4.6	Struktur mikro daerah <i>HAZ</i> (perbesaran 200×) parameter (a) maksimum (b) minimum (nilai kekerasan) .....	78
Gambar 4.7	Struktur mikro daerah <i>weld metal</i> (perbesaran 200×) parameter (a) maksimum (b) minimum (kekuatan sambungan las) .....	79
Gambar 4.8	Struktur mikro daerah <i>HAZ</i> (perbesaran 200×) parameter (a) maksimum (b) minimum (kekuatan sambungan las) .....	80
Gambar 4.9	Pengambilan data suhu dengan termokopel .....	81
Gambar 4.10	Gambar diagram fasa baja karbon rendah .....	82
Gambar 4.11	Struktur makro hasil pengelasan dengan parameter (a) terbaik, (b) terburuk.....	83

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Sifat–sifat fisis, mekanik dan panas dari tembaga murni.....	12
Tabel 2.2	Nilai resistansi dan <i>current density</i> .....	13
Tabel 2.3	Klasifikasi Baja karbon .....	16
Tabel 2.4	Skala Kekerasan Rockwell.....	23
Tabel 2.5	Skala <i>Superficial Rockwell</i> .....	24
Tabel 2.6	<i>Orthogonal array L4</i> .....	31
Tabel 2.7	<i>Orthogonal array L9</i> .....	31
Tabel 3.1	Spesifikasi mesin las titik.....	41
Tabel 3.2	Faktor dan level penelitian .....	45
Tabel 3.3	Derajat kebebasan .....	45
Tabel 3.4	<i>Orthogonal array L<sub>9</sub>(3<sup>4</sup>)</i> .....	46
Tabel 3.5	<i>Orthogonal array L<sub>9</sub>(3<sup>4</sup>)</i> dengan faktor dan level.....	46
Tabel 4.1	Nilai hambatan dari berbagai bentuk elektroda.....	58
Tabel 4.2	Nilai rata-rata kekerasan daerah <i>weld metal</i> , HAZ, dan <i>base metal</i> .....	59
Tabel 4.3	Nilai rata-rata kekuatan sambungan las .....	59
Tabel 4.4	Respon pengaruh level terhadap rata-rata kekerasan pada daerah <i>weld metal</i> .....	60
Tabel 4.5	Respon pengaruh level terhadap rata-rata kekerasan pada daerah HAZ ...	60
Tabel 4.6	Respon pengaruh level terhadap rata-rata kekerasan pada daerah <i>base metal</i> .....	60
Tabel 4.7	Respon pengaruh level terhadap rata-rata nilai kekuatan sambungan las .	60
Tabel 4.8	ANOVA nilai rata-rata kekerasan pada <i>weld metal</i> (HRA) .....	61
Tabel 4.9	ANOVA nilai rata-rata kekerasan HAZ (HRA) .....	62
Tabel 4.10	ANOVA nilai rata-rata kekerasan pada <i>base metal</i> (HRA) .....	63
Tabel 4.11	ANOVA nilai rata-rata kekuatan sambungan las (kN) .....	64
Tabel 4.12	Prediksi rata-rata kekerasan pada daerah <i>weld metal</i> , HAZ, dan <i>base metal</i> serta prediksi rata-rata kekuatan sambungan las .....	65
Tabel 4.13	Interval kepercayaan rata-rata kekerasan <i>weld metal</i> , HAZ, dan <i>Weld Metal</i> serta interval kepercayaan rata-rata kekuatan sambungan las .....	65



Tabel 4.14 Rasio S/N kekerasan <i>weld metal</i> .....	66
Tabel 4.15 Respon pengaruh level dari faktor terhadap rasio S/N kekerasan pada <i>weld metal</i> .....	66
Tabel 4.16 Rasio S/N kekerasan HAZ .....	67
Tabel 4.17 Respon pengaruh level dari faktor terhadap rasio S/N kekerasan pada HAZ.....	67
Tabel 4.18 Rasio S/N kekerasan <i>base metal</i> .....	67
Tabel 4.19 Respon pengaruh level dari faktor terhadap rasio S/N kekerasan pada <i>base metal</i> .....	68
Tabel 4.20 Rasio S/N kekuatan sambungan las .....	68
Tabel 4.21 Respon pengaruh level dari faktor terhadap rasio S/N kekuatan sambungan las .....	68
Tabel 4.22 ANOVA nilai rasio S/N kekerasan <i>weld metal</i> .....	69
Tabel 4.23 ANOVA nilai rasio S/N kekerasan HAZ .....	70
Tabel 4.24 ANOVA nilai rasio S/N kekerasan <i>base metal</i> .....	71
Tabel 4.25 ANOVA nilai rasio S/N kekuatan sambungan las .....	72
Tabel 4.26 Prediksi rasio S/N nilai kekerasan pada daerah <i>weld metal</i> , HAZ, dan <i>base metal</i> serta prediksi rasio S/N kekuatan sambungan las .....	72
Tabel 4.27 Interval kepercayaan rasio S/N kekerasan <i>weld metal</i> , HAZ, dan <i>Weld</i> <i>Metal</i> serta interval kepercayaan rasio S/N kekuatan sambungan las.....	74
Tabel 4.28 Hasil pengujian kekerasan dengan parameter optimal .....	76
Tabel 4.29 Perbandingan struktur mikro <i>weld metal</i> .....	77
Tabel 4.30 Hasil pengujian kekerasan dengan parameter optimal .....	77
Tabel 4.31 Perbandingan struktur mikro HAZ.....	78
Tabel 4.32 Hasil pengujian tarik dengan parameter optimal.....	79
Tabel 4.33 Perbandingan struktur mikro <i>weld metal</i> .....	80
Tabel 4.34 Perbandingan struktur mikro daerah HAZ.....	81

## NOMENKLATUR

Simbol	Definisi	Satuan
$Q$	Panas	(J)
$V$	Tegangan listrik	(V)
$I$	Arus listrik	(A)
$R$	Tahanan listrik	(Ohm)
$t$	Waktu	(s)
$\rho$	Hambatan Jenis	(Ohm mm)
$l$	Jarak ke dua elektroda	(mm)
$A$	Luas penampang	(mm <sup>2</sup> )
$\sigma$	Resistansi listrik	(Ohm <sup>-1</sup> m <sup>-1</sup> )
$L$	Panjang akhir	(m, mm)
$L_0$	Panjang awal	(m, mm)
$N$	Jumlah percobaan	
$y$	Data yang diperoleh dari percobaan	
$KA$	Jumlah level faktor	
$nA_i$	Jumlah percobaan level ke $i$ faktor A	
$T$	Jumlah keseluruhan nilai data	
$SS_m$	Jumlah kuadrat rata-rata	
$SS_e$	Jumlah kuadrat error	
$MS$	Rata-rata kuadrat	
$F$	Pengaruh faktor	
$S/N$	Signal Rasio	
$F_{(\mu;VI;Ve)}$	Rasio F dari tabel	
$\alpha$	resiko	
$VI$	Derajat kebebasan faktor	
$Ve$	Derajat kebebasan error	
$M_{se}$	Rata-rata kuadrat error	

$SS_e$	Jumlah kuadrat error
$n$	Jumlah yang diuji pada kondisi tertentu
$\mu_{AK}$	Dugaan rata-rata faktor A pada perlakuan level ke K
$\bar{A}_k$	Rata-rata faktor A pada perlakuan level ke K
$N_{eff}$	Jumlah pengamatan efektif
$r$	Jumlah replika yang dilaksanakan