



**UNIVERSITAS DIPONEGORO**

**PENGUJIAN SIFAT MEKANIK DAN STUKTUR MIKRO PADA  
SAMBUNGAN PENGELASAN GESEK BAJA ST60**

**TUGAS AKHIR**

**VIKTOR HARI SUROTO  
L2E 005 494**

**FAKULTAS TEKNIK  
JURUSAN TEKNIK MESIN**


**SEMARANG  
SEPTEMBER 2011**

## TUGAS SARJANA

- Diberikan kepada : Nama : Viktor Hari Suroto  
NIM : L2E 005 494
- Dosen Pembimbing : Dr. Jamari, ST, MT
- Jangka Waktu : 3 bulan (tiga bulan)
- Judul : Pengujian Sifat Mekanik Dan Stuktur Mikro Pada  
Sambungan Pengelasan Gesek Baja ST60
- Isi Tugas : 1. Mengetahui proses pengelasan gesek putaran  
langsung pada baja ST60 dengan variasi tekanan dan  
waktu.  
2. Mengetahui kualitas dari sambungan pengelasan  
gesek baja ST60 yaitu dengan melakukan pengujian  
kekuatan tarik, kekerasan mikro dan struktur mikro.

Semarang, September 2011

Menyetujui,  
Pembimbing




**Dr. Jamari, ST, MT**

NIP. 197403042000121001

## 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 : Viktor Hari Suroto**  
**NIM : L2E 005 494**  
**Tanda Tangan : **  
**Tanggal : September 2011**

## HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :

Nama : Viktor Hari Suroto

NIM : L2E 005 494

Jurusan/Program Studi : Teknik Mesin

Judul Skripsi : Pengujian Sifat Mekanik dan Stuktur Mikro pada  
Sambungan Pengelasan Gesek Baja ST60

**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. Jamari, ST, MT

Penguji : Ir. Eflita Yohana, MT, Ph.D

Penguji : Dr. Ir. A.P. Bayuseno, MSc

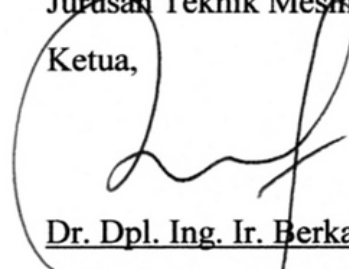
Penguji : Dr. Sulardjaka, ST, MT



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

Nama : VIKTOR HARI SUROTO  
NIM : L2E 005 494  
Jurusan/Program Studi : TEKNIK MESIN  
Fakultas : TEKNIK  
Jenis Karya : SKRIPSI

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Diponegoro **Hak Bebas Royalti Noneksklusif** (*Non-exclusive Royalty Free Right*) atas karya ilmiah saya yang berjudul :

**Pengujian Sifat Mekanik dan Stuktur Mikro pada  
Sambungan Pengelasan Gesek Baja ST60**

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



(Viktor Hari Suroto)

NIM: L2E 005 494

## **HALAMAN MOTTO DAN PERSEMBAHAN**

### **Motto:**

“jangan pernah menyerah, roda kehidupan pasti selalu berputar, tidak selamanya kita berada dalam kesukaran”

### **Persembahan:**

Kupersembahkan karyaku ini kepada :  
Bapak dan Ibu serta kakak-kakakku yang tercinta  
atas semua kasih sayang, keikhlasan, dan pengorbanan  
yang tak ada hentinya...

## ***ABSTRACT***

*Direct friction welding is welding process that able to join material without filler and has good joint-strength quality. This research purposes is to know the process of direct spin friction welding and the quality of the joint with tensile test, micro hardness test and micrography. The welding process is to weld Carbon Steel ST-60 with spinning speed 725rpm, the friction time 15-60 second and friction pressure 14, 29 19, and 39 MPa and forging pressure 97 MPa.*

*From the rearch, known that friction time and pressure force influence in tensile strength of friction welding joint. The highest of tensile strength occurred on friction welding joint with pressure force 19 Mpa and friction time 20 second in amount of 98% from base material ST60. Maximum micro hardness occurred on horizontal direction is in interface welding and maximum micro hardness occurred on vertical direction occurred in final section welding. From the micro structure, the grain boundary is more tight from outside to the middle part.*

*Keyword : ST60 Steel, forging pressure, joint quality, tensile test, direct friction welding*

## ABSTRAK

Pengelasan gesek langsung adalah pengelasan yang mampu menyambung material tanpa menggunakan *filler* dan memiliki kualitas kekuatan sambungan yang baik. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui proses pengelasan gesek putaran langsung dan untuk mengetahui kualitas sambungan dengan melakukan pengujian tarik, kekerasan mikro dan struktur mikro. Proses yang dilakukan adalah dengan melakukan pengelasan pada baja karbon ST60 dengan kecepatan putar yang digunakan 725 rpm, waktu gesekan antara 15-60 detik dan tekanan gesek 14, 29, 19, dan 39 MPa dengan tekanan *forging* sebesar 97 MPa.

Dari hasil penelitian menunjukkan bahwa waktu gesek dan gaya tekan berpengaruh terhadap kekuatan tarik sambungan las gesek. Kekuatan tarik tertinggi terjadi pada sambungan las gesek dengan gaya tekan 19 MPa dengan waktu gesek 20 detik sebesar 98% dari material induk baja ST60. Kekerasan mikro maksimum terjadi pada arah horizontal diperoleh pada antarmuka las dan kekerasan mikro maksimum pada arah vertikal diperoleh menjelang bagian akhir. Sedangkan struktur mikro terlihat batas butirnya semakin rapat dari bagian luar ke bagian tengah las.

Kata kunci: baja ST60, tekanan *forging*, kualitas sambungan, uji tarik, pengelasan gesek langsung

## KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT atas rahmat, taufik, dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan tugas akhir ini. Tugas Akhir yang berjudul "*Pengujian Sifat Mekanik dan Stuktur Mikro pada Sambungan Pengelasan Gesek Baja ST60*" ini dimaksudkan untuk memenuhi persyaratan dalam menyelesaikan Pendidikan Tingkat Sarjana Strata Satu (S1) pada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Diponegoro.

Dalam kesempatan ini penyusun ingin menyampaikan rasa hormat dan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu dan memberikan dorongan kepada penyusun selama penyusunan tugas akhir ini, antara lain:

1. Bapak Dr. Jamari, ST, MT selaku Dosen Pembimbing, yang telah memberikan bimbingan, dan pengarahan-pengarahan dalam menyusun tugas akhir ini.
2. Bapak Rifky Ismail, ST, MT yang telah memberikan masukan dan pengarahan dalam menyusun tugas akhir ini.
3. Bapak Drs. Poedji Haryanto, SST selaku partner kerja yang telah memberikan izin untuk melakukan penelitian di Laboratorium Material dan Proses Produksi di Politeknik Negeri Semarang.
4. Ahmad Mardiyono sebagai patner kerja dalam menyelesaikan tugas akhir ini.

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. Akhir kata semoga tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi pembaca dan semakin menambah kecintaan dan rasa penghargaan kita terhadap Teknik Mesin Universitas Diponegoro.

Semarang, September 2011

Penulis

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN TUGAS SARJANA.....	ii
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS.....	iii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI.....	v
HALAMAN MOTTO DAN PERSEMBAHAN.....	vi
<i>ABSTRACT</i> .....	vii
ABSTRAK.....	viii
KATA PENGANTAR.....	ix
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR TABEL.....	xvi
NOMENKLATUR.....	xvii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan Penelitian.....	3
1.5 Metode Penelitian.....	3
1.6 Sistematika Penulisan.....	3
BAB II DASAR TEORI.....	5
2.1 Baja.....	5
2.1.1 Proses Pembuatan Baja.....	5
2.1.2 Klasifikasi Baja.....	6
2.1.3 Pengaruh Unsur Paduan pada Baja.....	8
2.1.4 Diagram Fasa Besi Karbon.....	10

2.2	Pengelasan.....	13
2.2.1	Pengelasan <i>Solid-State</i> .....	14
2.2.2	Pengelasan Gesek .....	15
2.2.3	Keuntungan dan Kekurangan Pengelasan Gesek .....	21
2.2.4	Karakteristik Las.....	22
2.3	Pengujian Material .....	24
2.3.1	Pengujian Tarik.....	24
2.3.2	Pengujian Kekerasan .....	25
2.3.3	Pengujian Struktur Mikro .....	27
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....		29
3.1	Diagram Alir Penelitian .....	29
3.2	Benda Uji dan Peralatan yang Digunakan .....	30
3.2.1	Benda Uji.....	30
3.2.2	Peralatan <i>Friction Welding</i> .....	31
3.3	Langkah Pengelasan Gesek dengan Mesin Bubut .....	38
3.4	Pengujian <i>Friction Welding</i> .....	38
3.4.1	Pengujian Tarik .....	38
3.4.2	Pengujian Kekerasan Mikro <i>Vickers</i> .....	41
3.4.3	Pengujian Struktur Mikro.....	43
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....		46
4.1	Penelitian Sebelumnya .....	46
4.1.1	Penyambungan AISI 1040 menggunakan FRW.....	46
4.1.2	Pengaruh Tekanan Tempa terhadap Upset, Akurasi Dimensi dan Kekuatan Sambungan Lasan pada Baja Karbon Aisi 1045 dengan <i>Direct-Drive Friction Welding</i> .....	50
4.2	Penelitian yang Sedang Dilakukan .....	54
4.3	Pengujian Tarik .....	55
4.4	Pengujian Kekerasan Mikro.....	59
4.5	Pengujian Struktur Mikro.....	62

BAB V PENUTUP.....	67
5.1 Kesimpulan .....	67
5.2 Saran.....	67
DAFTAR PUSTAKA .....	68
LAMPIRAN .....	69
A. Data Penelitian .....	69
A.1 Data Uji Tarik di Polines.....	69
A.2 Data Uji Kekerasan di UGM.....	70
B. Alat-Alat yang Digunakan dalam Penelitian.....	72
B.1 Mesin Bubut yang Digunakan untuk Pengelasan gesek.....	72
B.2 Peralatan Pendukung .....	72
B.3 Alat yang Digunakan untuk Menguji Kualitas Las .....	74

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Gardan roda [1] .....	1
Gambar 1.2	Diagram alir metode penelitian.....	3
Gambar 2.1	Diagram kesetimbangan Fe-C [4].....	11
Gambar 2.2	Klasifikasi pengelasan [5].....	14
Gambar 2.3	Skema langkah dalam proses pengelasan gesek (a) satu benda kerja diputar, dan lain dalam keadaan diam; (b) kedua spesimen berkontak dan gaya aksial diterapkan untuk memulai proses pengelasan; (c) spesimen yang berputar dihentikan, dan proses <i>forging</i> dilakukan [3] .....	16
Gambar 2.4	Skema alat pengelasan dari <i>direct-drive friction welding</i> [2].....	17
Gambar 2.5	Plot parameter pengelasan terhadap waktu untuk pengelasan putaran langsung [6].....	18
Gambar 2.6	Karakteristik parameter pengelasan gesek inersia [6].....	19
Gambar 2.7	Pengelasan gesek linier [7].....	20
Gambar 2.8	Pengelasan Adukan Gesek [8] .....	21
Gambar 2.9	Skema kurva tegangan – regangan material getas dan ulet [4].....	25
Gambar 2.10	Tipe-tipe lekukan piramida intan, (a) lekukan yang sempurna; (b) lekukan bantal jarum; (c) lekukan berbentuk tong [8] .....	27
Gambar 3.1	Diagram alir penelitian .....	29
Gambar 3.2	Spesimen sebelum pengelasan gesek.....	31
Gambar 3.3	Skema spesimen sebelum pengelasan gesek.....	31
Gambar 3.4	Mesin bubut yang digunakan untuk <i>friction welding</i> .....	32
Gambar 3.5	<i>Tail-stock</i> mesin bubut.....	32
Gambar 3.6	Konstruksi batang batang penyangga beban.....	33
Gambar 3.7	Dimensi batang penyangga beban.....	33
Gambar 3.8	Mekanisme gaya tekan pada ulir [10] .....	34
Gambar 3.9	Gerakan maju (gerakan penekanan).....	34
Gambar 3.10	Standar ukuran spesimen uji tari berdasarkan ASTM-E8M.....	38

Gambar 3.11	Spesimen sebelum uji tarik .....	39
Gambar 3.12	Diagram alir pengujian tarik .....	40
Gambar 3.13	Skema alur letak titik-titik uji kekerasan mikro <i>Vickers</i> .....	41
Gambar 3.14	Spesimen uji untuk uji kekerasan mikro <i>Vickers</i> .....	41
Gambar 3.15	Diagram alir pengujian kekerasan mikro <i>Vickers</i> .....	42
Gambar 3.16	Skema letak titik-titik uji struktur mikro.....	43
Gambar 3.17	Spesimen uji struktur mikro .....	43
Gambar 3.18	Diagram alir pengujian metalografi .....	44
Gambar 4.1	Parameter pada <i>continous-drive friction welding</i> [12].....	47
Gambar 4.2	Mesin pengelasan gesek [12] .....	47
Gambar 4.3	Posisi spesimen uji [12] .....	47
Gambar 4.4	Hasil kekuatan tarik a) efek waktu gesek; b) efek tekanan gesek [12] .....	48
Gambar 4.5	Orientasi uji kekerasan [12] .....	49
Gambar 4.6	Uji kekerasan (a) Horisontal (b) Vertikal [12].....	49
Gambar 4.7	Spesimen awal [3] .....	50
Gambar 4.8	Gambar mesin pengelasan gesek yang digunakan [3] .....	50
Gambar 4.9	Grafik tekanan tempa terhadap kekuatan sambungan [3] .....	52
Gambar 4.10	Grafik tekanan tempa terhadap upset [3] .....	53
Gambar 4.11	Spesimen tanpa tekanan tempa setelah uji tarik (patah pada sambungan) [3].....	53
Gambar 4.12	Specimen dengan tekanan tempa setelah uji tarik (patah pada HAZ) [3].....	53
Gambar 4.13	Skema pengelasan gesek .....	54
Gambar 4.14	Mesin bubut yang digunakan untuk pengelasan gesek .....	55
Gambar 4.15	Grafik nilai kekuatan tarik .....	56
Gambar 4.16	Grafik nilai kekuatan tarik dengan $t = 20$ detik .....	58
Gambar 4.17	Spesimen setelah uji tarik.....	58
Gambar 4.18	Plot pengujian tarik .....	59
Gambar 4.19	Grafik nilai kekerasan pengelasan gesek secara horisontal .....	61
Gambar 4.20	Grafik nilai kekerasan pengelasan gesek secara vertikal .....	62

Gambar 4.21	Foto makro spesimen dan arah letak titik-titik uji struktur mikro .....	63
Gambar 4.22	Struktur mikro daerah transisi pengelasan .....	63
Gambar 4.23	Struktur mikro daerah las .....	64
Gambar 4.24	Struktur mikro daerah HAZ kasar .....	64
Gambar 4.25	Struktur mikro daerah HAZ halus .....	65
Gambar 4.26	Struktur mikro daerah transisi HAZ halus dan material induk .....	65
Gambar 4.27	Struktur mikro daerah material induk .....	66

## DAFTAR TABEL

Tabel 3.1	Dimensi spesimen uji tarik berdasarkan ASTM-E8M [11].....	39
Tabel 4.1	Proses <i>friction</i> dan <i>forging</i> [3] .....	51
Tabel 4.2	Hasil pengujian tarik [3].....	51
Tabel 4.3	Data hasil akurasi dimensi [3].....	52
Tabel 4.4	Hasil pengujian tarik .....	56
Tabel 4.5	Hasil pengujian tarik dengan waktu 20 detik. ....	57
Tabel 4.6	Kekerasan mikro <i>Vickers</i> pada pengelasan gesek baja ST60 arah horisontal.....	60
Tabel 4.7	Kekerasan mikro <i>Vickers</i> pada pengelasan gesek baja ST60 arah vertikal.....	61

## NOMENKLATUR

Simbol	Keterangan	Satuan
Mf	Massa gesek	[Kg]
Mu	Massa upset	[Kg]
Tf	Waktu gesek	[s]
Tu	Waktu upset	[s]
Pf	Tekanan gesek	[MPa]
Pu	Tekanan upset	[MPa]
D	Diameter	[mm]
N	Gaya normal	[N]
F	Gaya	[N]
W	Gaya penekan	[N]
$\mu$	Koefisien gesek	[-]