

**UNIVERSITAS DIPONEGORO**

**ANALISA KEPEKAAN RETAK, DAN STRUKTUR MIKRO PADA  
DAERAH KRITIS REL FOOT BAJA AISI 50B60H YANG TELAH  
MENGALAMI PROSES PENGELASAN THERMITE**

**TUGAS AKHIR**

**BAMBANG SETIYONO  
L2E 005 431**

**FAKULTAS TEKNIK  
JURUSAN TEKNIK MESIN**

**SEMARANG  
JUNI 2011**

**TUGAS SARJANA**

Diberikan kepada : Nama : Bambang Setiyono  
NIM : L2E 005 431  
Dosen Pembimbing : Ir. Yurianto, MT  
Jangka Waktu : 6 Bulan (enam bulan)  
Judul : Analisa Kepekaan Retak, dan Struktur Mikro pada Daerah Kritis Rel Foot Baja AISI 50B60H yang Telah Mengalami Proses Pengelasan Thermite  
Isi Tugas : 1. Melakukan pengujian : *Impact*, kekerasan Rockwell, dan metalografi pada rel R 42 daerah *foot*.  
2. Membahas struktur mikro, harga *impact*, nilai kekerasan, dan komposisi R 42 serta menghubungkannya dengan dasar teori dan referensi yang ada.

Semarang, 4 Mei 2011

Menyetujui,  
Pembimbing

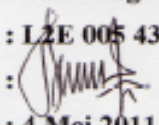


Ir. Yurianto, MT

NIP. 195507271986031002

## 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.**

<b>Nama</b>	<b>: Bambang Setiyono</b>
<b>NIM</b>	<b>: L2E 005 431</b>
<b>Tanda Tangan</b>	
<b>Tanggal</b>	<b>: 4 Mei 2011</b>

## HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :

Nama : Bambang Setiyono


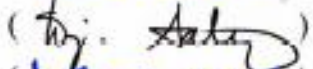

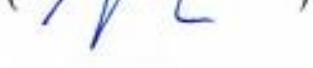
NIM : L2E 005 431


Jurusan/Program Studi : Teknik Mesin

Judul Skripsi : ANALISA KEPEKAAN RETAK, DAN STRUKTUR  
MIKRO PADA DAERAH KRITIS REL FOOT BAJA AISI  
50B60H YANG TELAH MENGALAMI PROSES  
PENGELASAN THERMITE

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	: Ir. Yurianto, MT	(  )
Penguji	: Ir. Djoeli Satridjo, MT	(  )
Penguji	: Dr. Ir. Toni Prahasto	(  )
Penguji	: Dr. Rusnaldy, ST, MT	(  )

Semarang, Juni 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 : BAMBANG SETIYONO

NIM : L2E 005 431

Jurusan/Program Studi : TEKNIK MESIN

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 :

Analisa Kepekaan Retak dan Struktur Mikro pada Daerah Kritis Rel Foot Baja AISI 50B60H yang telah Mengalami Proses Pengelasan Themite.

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 : 27 Juni 2011

Yang menyatakan,



( BAMBANG SETIYONO )

NIM: L2E 005 431

## ABSTRACT

*The high rate of train's accident is caused by the lack of quality from rail welded joints. The bad quality of welded joints could also cause cracks to the rail. The safety of the people, who use train for their transportation, will in danger if the crack does not be handled effectively.*

*The rail track connection zone are: base metal, heat affected zone (HAZ), and weld metal. Weld metal area need hardness value that is much the same to base metal, and free from any failure wich may cause crack. The test of weld metal specimen are: metallography test, hardness test, impact, and compotion test. So data that are derived from the test can be used to examine that welding process that is done well functioning for railway joining process.*

*From the experiment, we obtain the average impact toughness of material is  $0,065 \text{ J/mm}^2$ . Hardness value of material on the base metal area is  $24,9 \pm 0,17 \text{ HRC}$ , HAZ area is  $28,5 \pm 0,32 \text{ HRC}$ , and weld metal area is  $24 \pm 0,05 \text{ HRC}$ . Micro structure consist of ferrit and pearlite (more pearlite). Weldability is poor and susceptible to hot cracking and pre-hot cracking but good againts cold cracking and and re-heat cracking.*

*Keywords: hardness, cracking fenomena, weld metal, Thermite Welding, impact, rail R-*

## ABSTRAK

Tingginya tingkat kecelakaan kereta api dapat disebabkan oleh kualitas sambungan rel yang kurang baik. Kurangnya kualitas sambungan ini akan menimbulkan cacat seperti retak. Apabila retak ini tidak ditangani secara efektif maka akan sangat berbahaya bagi keselamatan para pengguna jasa transportasi kereta api.

Daerah sambungan rel terdiri dari tiga bagian, yaitu: daerah logam dasar (*base metal*), daerah HAZ (*Heat Affected Zone*), dan logam las (*weld metal*). Pada logam las dibutuhkan nilai kekerasan yang hampir sama dengan logam dasar, dan bebas dari cacat yang menyebabkan terjadinya retak. Pengujian yang dilakukan adalah: metalografi, pengujian kekerasan, dampak, dan pengujian komposisi, sehingga data yang diperoleh dari pengujian dapat digunakan untuk mengetahui apakah proses pengelasan yang telah dilakukan dapat berfungsi dengan baik dan sesuai untuk proses penyambungan rel.

Dari hasil pengujian, diperoleh nilai kekuatan dampak rata-rata adalah sebesar  $0,065 \text{ J/mm}^2$ . Harga kekerasan material pada daerah logam dasar adalah  $24,9 \pm 0,17$  HRC, daerah HAZ adalah  $28,5 \pm 0,32$  HRC, daerah las adalah  $24 \pm 0,05$  HRC. Struktur mikro terdiri dari ferrit dan pearlite (lebih banyak pearlite). Sifat kemampuan lasan kurang baik dan rentan terhadap retak panas dan retak panas awal. Namun, aman akan retak dingin dan retak panas ulang.

Kata kunci: kekerasan, kepekaan retak, logam las, pengelasan *Thermite*, dampak, rel R-42

*“..... Maka sesungguhnya disamping ada kesukaran terdapat pula kemudahan. Sesungguhnya disamping ada kepayahan (jasmani) itu, ada pula kelapangan”*

**(QS. Al- Insyirah : 5-6)**

**Motto:**

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



## **Persembahan:**

Kupersembahkan karyaku ini kepada :  
Ibu, Bapak, dan Adik-adikku Yang Tercinta  
atas semua kasih sayang, keikhlasan, dan pengorbanan  
yang tak ada hentinya...

## **PRAKATA**

Puji syukur kehadirat Allah SWT atas rahmat, taufik, dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan tugas akhir ini. Tugas Akhir yang berjudul “*Analisa Kepekaan Retak, Dan Struktur Mikro Pada Daerah Kritis Rel Foot Baja AISI 50B60H Yang Telah Mengalami Proses Pengelasan Thermite*” 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. Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Diponegoro beserta staf pengajar yang telah membagikan ilmu yang berguna baik di masa sekarang maupun di masa yang akan datang.
2. Ir. Yuriyanto, MT selaku Dosen Pembimbing, yang telah memberikan bimbingan, dan pengarahan-pengarahan dalam menyusun 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, Mei 2011

Penulis

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL</b>	i
<b>HALAMAN TUGAS SARJANA</b>	ii
<b>HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS</b>	iii
<b>HALAMAN PENGESAHAN</b>	iv
<b>HALAMAN PERNYATAAN PUBLIKASI</b>	v
<b>ABSTRACT</b>	vi
<b>MOTTO DAN PERSEMBAHAN</b>	viii
<b>KATA PENGANTAR</b>	x
<b>DAFTAR ISI</b>	xi
<b>DAFTAR TABEL</b>	xiv
<b>DAFTAR GAMBAR</b>	xv
<b>BAB I    PENDAHULUAN</b>	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan dan Manfaat	3
1.3 Metode Penelitian	4
1.4 Batasan Masalah	4
1.5 Sistematika Penulisan	4
<b>BAB II    TINJAUAN PUSTAKA</b>	
2.1 Baja Rel	6
2.1.1. Tipe Rel	7
2.1.2. Klasifikasi Baja Rel	8
2.2 Pengelasan Rel	11
2.2.1. Las <i>Thermite</i>	11
2.2.2. Pengelasan SMAW	14
2.3 Cacat pada Las	16
2.4 Pembagian Cacat pada Rel	18

2.5	Manfaat Unsur-Unsur Paduan pada Baja	24
2.6	Pengujian Material	28
2.6.1.	Pengujian Metalografi	28
2.6.2.	Pengujian Kekerasan	31
2.6.3.	Pengujian <i>Impact</i>	33
<b>BAB III</b>	<b>METODE PENELITIAN</b>	
3.1	Metode yang digunakan	31
3.2	Diagram Alir Penelitian	41
3.3	Pengelasan Thermite	43
3.3.1.	Alat dan Bahan yang digunakan	43
3.3.2.	Prosedur Pengelasan	43
3.4	Pengujian Metalografi	50
3.4.1.	Alat dan Bahan yang digunakan	51
3.4.2.	Langkah-Langkah Pengujian	53
3.5	Pengujian Kekerasan	55
3.5.1.	Peralatan Pengujian	55
3.5.2.	Prosedur Pengujian	57
3.6	Pengujian <i>Impact</i>	60
3.6.1.	Alat dan Bahan yang digunakan	60
3.6.2.	Langkah-Langkah Pengujian	61
<b>BAB IV</b>	<b>HASIL DAN PEMBAHASAN</b>	
4.1	Hasil dan Pembahasan Pengujian Metalografi	64
4.1.1	Pengamatan Struktur Mikro pada Daerah Rel <i>Foot</i>	64
4.1.2	Hasil dan Pembahasan <i>Base Metal</i> R-42 pada Daerah Rel <i>Foot</i>	65
4.1.3	Hasil dan Pembahasan HAZ R-42 pada Daerah Rel <i>Foot</i>	67
4.1.4	Hasil dan Pembahasan Logam Las R-42 pada Daerah Rel <i>Foot</i>	68
4.2	Hasil dan Pembahasan Pengujian Kekerasan	70
4.2.1	Hasil Pengujian Kekerasan	70
4.3	Hasil dan Pembahasan Pengujian <i>Impact</i>	73

4.3.1 Hasil Pengujian <i>Impact</i>	73
4.4 Uji Komposisi	74
4.4.1 Hasil Pengujian Komposisi	74
4.4.2 Analisa Harga Kepekaan Retak	75
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN</b>	
5.1 Kesimpulan	78
5.2 Saran	78
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	
<b>LAMPIRAN</b>	

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Tabel komposisi jenis baja <i>pearlitic</i> dan <i>bainitic</i> .	9
Tabel 2.2	Perbandingan antara baja rel <i>pearlitic</i> dengan baja rel <i>bainitic</i>	10
Tabel 2.3	Jenis baja karbon berdasarkan prosentasi kadarnya	24
Tabel 2.4	Skala kekerasan superficial <i>Rockwell</i>	32
Tabel 2.5	Skala kekerasan superficial <i>Rockwell</i>	33
Tabel 4.1	Nilai kekerasan untuk spesimen uji rel-42 pada daerah <i>Foot</i> sambungan las <i>thermite</i>	70
Tabel 4.2	Tabel nilai keseksamaan	71
Tabel 4.3	Hasil pengujian <i>impact</i>	73
Tabel 4.4	Hasil uji komposisi kimia baja rel tipe R-42	75
Tabel 4.5	Harga kepekaan retak logam las sambungan <i>thermite</i>	76

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Rel retak	2
Gambar 2.1	Gambar bagian rel kereta api <i>flat bottom</i>	6
Gambar 2.2	Korelasi antara kekerasan dengan keausan pada mikrostruktur <i>pearlitic</i> , <i>bainitic</i> , dan <i>martensitic</i>	9
Gambar 2.3	Pengelasan <i>Thermite</i>	11
Gambar 2.4	Proses pengelasan <i>Thermite</i>	12
Gambar 2.5	Pengelasan <i>Thermite</i> dengan tekanan	13
Gambar 2.6	Cetakan pengelasan <i>Thermite</i> tanpa tekanan	14
Gambar 2.7	Skema proses <i>shielded metal-arc welding</i>	15
Gambar 2.8	Skema pengoperasian <i>shielded metal-arc welding</i>	15
Gambar 2.9	Jenis-jenis cacat: a. sampah dari lapisan batu bara b. <i>Silicon oxide</i> c. <i>Manganese sulfide</i>	21
Gambar 2.10	Struktur mikro <i>ferrite acicular</i> dominan dari baja karbon dan paduan rendah	29
Gambar 2.11	Struktur mikro <i>cementite</i>	29
Gambar 2.12	Contoh: struktur mikro pearlite. Pada struktur lamellar ini daerah terang adalah <i>ferrite</i> dan daerah gelap adalah <i>cementite</i>	30
Gambar 2.13	<i>Drop weight impact test</i>	34
Gambar 2.14	Pengaruh temperatur terhadap energi <i>impact</i> pada beberapa paduan	36
Gambar 2.15	Alat uji <i>impact</i> pendulum	37
Gambar 2.16	Spesimen untuk <i>charpy</i> dan <i>izod testing</i>	37
Gambar 2.17	Bentuk-bentuk patahan uji <i>impact</i>	38



Gambar 2.18	a) Struktur mikro perpatahan berserat b) Struktur mikro perpatahan granular/kristalin	38
Gambar 2.19	Grafik hasil uji <i>impact</i> material <i>ductile vs brittle</i>	39
Gambar 3.1	Diagram alir pengujian penelitian	42
Gambar 3.2	Proses penyesuaian ujung rel	44
Gambar 3.3	Pengencangan cetakan dengan <i>swivel arms</i>	45
Gambar 3.4	Proses pemberian luting	46
Gambar 3.5	Pemasangan <i>slag bowls</i>	46
Gambar 3.6	Proses <i>pre-heating</i>	47
Gambar 3.7	a). Proses pemasangan <i>crucible</i> b). Proses <i>pre-heating</i> pada <i>crucible</i>	47
Gambar 3.8	Proses penuangan <i>portion</i>	48
Gambar 3.9	Proses eksekusi las	48
Gambar 3.10	Proses pemindahan <i>crucible</i>	49
Gambar 3.11	a). Proses pelepasan sepatu cetakan b). Pemotongan diatas <i>head rel</i>	49
Gambar 3.12	Proses <i>Trimming</i>	50
Gambar 3.13	Proses <i>grinding</i>	50
Gambar 3.14	Benda uji	51
Gambar 3.15	Mesin polisher-grinder	51
Gambar 3.16	Kain beludru	51
Gambar 3.17	kamera	52
Gambar 3.18	Mikroskop	52
Gambar 3.19	Gelas kimia	52
Gambar 3.20	Amplas	53
Gambar 3.21	Reaktan nital 2%	53

Gambar 3.22	Diagram alir pengujian metalografi	55
Gambar 3.23	Alat uji kekerasan <i>Rockwell hardness tester</i> model HR 150-A	56
Gambar 3.24	Mesin polish/grinder	56
Gambar 3.25	Vernier caliper	56
Gambar 3.26	Amplas	57
Gambar 3.27	Diagram alir pengujian kekerasan <i>Rockwell</i>	59
Gambar 3.28	Mesin uji impak	60
Gambar 3.29	Vernier caliper	60
Gambar 3.30	Spesimen uji impak	61
Gambar 3.31	Diagram alir pengujian impak	63
gambar 4.1	Hasil pengamatan mikrografi (perbesaran 160x) daerah interfase untuk baja rel R-42	64
Gambar 4.2	Hasil foto mikro <i>base metal</i> R42 pada daerah rel <i>Foot</i> a). Perbesaran 500x b). Perbesaran 1000x	65
Gambar 4.3	Hasil foto mikro HAZ R42 pada daerah rel <i>Foot</i> A). Perbesaran 500x b). Perbesaran 1000x	67
Gambar 4.4	Hasil foto mikro logam las R42 pada daerah rel <i>Foot</i> a). Perbesaran 500x b). Perbesaran 1000x.	68
Gambar 4.5	Grafik hasil pengujian kekerasan <i>Rockwell</i>	70
Gambar 4.6	Perbandingan nilai kekerasan pada daerah las, HAZ, dan <i>base metal</i>	71
Gambar 4.7	Spesimen hasil patahan uji impak	74

