



UNIVERSITAS DIPONEGORO

**ANALISA KEKUATAN DAN TEGANGAN PADA SAMBUNGAN REL-54
HASIL PENGELASAN THERMITE DENGAN METODE ELEMEN
HINGGA**

TUGAS AKHIR

**HERMAWAN SULISTIYANTO
L2E 005 454**

**FAKULTAS TEKNIK
JURUSAN TEKNIK MESIN**

**SEMARANG
MARET 2011**

TUGAS SARJANA

- Diberikan kepada : Nama : Hermawan Sulistiyanto
Nim : L2E 005 454
- Dosen Pembimbing : 1. Dr.-Ing Ir. Ismoyo Haryanto, MT
2. Dr. Rusnaldy, ST,MT
- Jangka Waktu : 6 Bulan (enam bulan)
- Judul : Analisa Kekuatan dan Tegangan pada Sambungan Rel-54
Hasil Pengelasan Thermite dengan Metode Elemen Hingga
- Isi Tugas
1. Melakukan pengujian : Uji Tarik material Rel-54 pada logam lasan, logam dasar dan HAZ.
 2. Memodelkan dan mensimulasikan pembebanan statis pada Rel-54 terhadap roda lokomotif dengan menggunakan software ANSYS APDL.
 3. Menganalisa tegangan maksimum hasil pemodelan terhadap teori kegagalan dan tingkat keamanan material.

Semarang, 24 Maret 2011

Menyetujui
Pembimbing I

Menyetujui
Pembimbing II

Dr.-Ing Ir. Ismoyo Haryanto, MT
NIP. 196605212006041010

Dr. Rusnaldy, ST,MT
NIP. 197005201999031002

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 : Hermawan Sulistiyanto
NIM : L2E 005 454
Tanda Tangan :
Tanggal : 24 Maret 2011

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :
NAMA : Hermawan Sulistiyanto
NIM : L2E 005 454
Jurusan/Program Studi : Teknik Mesin
Judul Skripsi : Analisa Kekuatan dan Tegangan pada Sambungan Rel-54 Hasil Pengelasan Thermite dengan Metode Elemen Hingga

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 I : Dr.- Ing. Ir. Ismoyo Haryanto, MT ()
Pembimbing II : Dr. Rusnaldy, ST, MT ()
Penguji : Ir. Sugeng Tirta Atmadja, MT ()
Penguji : Dr. Dipl.-Ing Ir. Berkah Fadjar, TK ()

Semarang, 24 Maret 2011
Jurusan Teknik Mesin
Ketua,

Dr. Ir. Dipl.-Ing.Ir. Berkah Fadjar TK
NIP. 1959072219870310003

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

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

Nama : HERMAWAN SULISTIYANTO

NIM : L2E 005 454

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, Dr.-ing Ir. Ismoyo Haryanto, MT dan Dr. Rusnaldy, ST, MT yang berjudul :

Analisa Kekuatan dan Tegangan pada Sambungan Rel-54 Hasil Pengelasan Thermite dengan Metode Elemen Hingga

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 , Dr.-ing Ir. Ismoyo Haryanto, MT dan Dr. Rusnaldy, ST, MT 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 : 24 Maret 2011

Yang menyatakan,

(HERMAWAN SULISTIYANTO)

NIM: L2E 005 454

ABSTRAK

Kereta api merupakan salah satu *moda transportasi* darat yang banyak digunakan oleh masyarakat Indonesia. Keselamatan dan kenyamanan adalah faktor yang diinginkan pengguna alat transportasi. Banyaknya kejadian kecelakaan kereta api sering kali diakibatkan karena kondisi jalur kereta yang cenderung tidak aman. Salah satu penyebab terjadinya kecelakaan kereta api tersebut adalah kondisi sambungan las rel kereta api yang sudah retak.

Ada beberapa metode penyambungan rel yang dipakai, antara lain sambungan dengan pelat penyambung, sambungan las tekan busur listrik (*Flash Butt Welding*) dan sambungan menggunakan las *thermite* (*Thermite Welding*). Dalam laporan penulisan ini penulis akan mengambil bahasan tentang pengelasan *thermite*. Pengelasan *thermite* hanya digunakan pada bagian rel yang panjang. Dari hasil pengelasan ini dapat diklasifikasikan daerah-daerah hasil lasan yang terdiri dari 3 (tiga) daerah yaitu : logam dasar (*Base Metal*), daerah terpengaruh panas (*Heat Affected Zone-HAZ*) dan logam las (*Weld Metal*).

Pada penelitian ini, tegangan maksimum yang bekerja pada daerah *haz metal* dan *weld metal* akibat pembebanan dari roda *lokomotif* D 300, CC 202 dan CC 203 akan dihitung secara *komputasional*. Beberapa parameter yang digunakan dalam *simulasi* kasus pembebanan statis Rel-54 menggunakan Metode Elemen Hingga (MEH) dengan *software ANSYS APDL* antara lain *Yield Strength* (σ_y), *Modulus Elastisitas* (E) dan *Poisson Ratio* (ν). Parameter-parameter yang digunakan adalah hasil pengujian tarik material Rel-54 hasil pengelasan *thermite*, dengan sampel uji Rel-54 didapat dari PT. Dwi Tunggal Karya yang memiliki sertifikat pengelasan yang dikeluarkan oleh BKI (Biro Klasifikasi Indonesia).

Hasil penelitian menunjukkan bahwa tegangan *von misses* (σ_{eq}) pada daerah *weld metal* paling maksimum sebesar 361.638 MPa sedangkan nilai tegangan luluh material/ *yield strength* (σ_y) tersebut adalah 552.8211 MPa dan tegangan *von misses* (σ_{eq}) pada daerah *haz metal* paling maksimum sebesar 445.877 MPa sedangkan nilai tegangan luluh material/ *yield strength* (σ_y) tersebut adalah 544.2 MPa. Sehingga menurut *teori von misses* apabila $\sigma_{eq} < \sigma_y$ maka disimpulkan bahwa daerah *weld metal* dan *haz metal* tersebut masih dalam kondisi aman. Tingkat keamanan dari material *weld metal* dan *haz metal* pada rel 54 juga dapat dikategorikan aman karena memiliki nilai tingkat keamanan ≥ 0.5 .

Kata kunci : las *thermite*, Metode Elemen Hingga (MEH), *yield strength*, tingkat keamanan.

ABSTRACT

The train is one mode of land transportation that is widely used by people of Indonesia. Safety and convenience are the factors that users wanted in transportation. The number of train accidents are often caused by conditions of the trains railway which tend to be safe. One of the causes of railway accidents is the condition of rail welded joints that have been cracked.

There are several methods used rail connections, including connections with connector plates, electric arc welding joint press, and the connection using thermite welding. In writing this report the author will take the discussion of thermite welding. Thermite welding is used only in the long rails. The result of this welding can be classified of 3 (three) areas namely: base metal, weld metal and heat affecting zone. In this study, the maximum stress that works on Haz metal and weld metal due to the imposition of the wheel locomotive D 300, CC 202 and CC 203 will be calculated by computational. Some parameters used in the simulation of static loading rail-54 using Finite Element Method (FEM) with ANSYS APDL include Yield Strength (σ_y), Modulus of Elasticity (E) and Poisson's Ratio (ν). The parameters used are the result of tensile test results of material rail-54 thermite welding, with Rail-54 test sample obtained from the PT. Dwi Tunggal Karya that has welding certificate issued by BKI (Bureau of Classification Indonesia).

The result showed that the von mises stress (σ_{eq}) on the weld metal at a maximum of 361.638 MPa while value of material yield strength (σ_y) is 552.8211 MPa and the von mises stress (σ_{eq}) on the areas haz metal maximum of 445.877 MPa while the value of material yield stress / yield strength (σ_y) is 542.2 MPa. So in theory if the von mises $\sigma_{eq} < \sigma_y$ then concluded that the local weld metal and HAZ metal is still in a safe condition. Security level of material weld metal and HAZ metal in the rail 54 can also be classified as save because it has ≥ 0.5 margin of safety.

Keywords: thermite welding, Finite Element Method, yield strength, margin of safety.

MOTTO DAN PERSEMBAHAN

Motto:

Jangan pernah katakan kamu tidak bisa sebelum mencobanya
Hasil ahir tidak lagi penting apabila kita tidak menikmati proses untuk mendapatkannya

Persembahaan:

Kupersembahkan karyaku ini kepada:
Ayah, Ibu dan Adikku Yang Tercinta

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT atas rahmat, taufik, dan hidayahNya sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan tugas sarjana ini. Tugas sarjana yang berjudul “*Analisa Kekuatan dan Tegangan pada Sambungan Rel-54 Hasil Pengelasan Thermite dengan Metode Elemen Hingga*” ini dimaksudkan untuk memenuhi persyaratan dalam menyelesaikan pendidikan tingkat Sarjana Strata Satu (S-1) pada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Diponegoro.

Dalam kesempatan ini penulis ingin menyampaikan rasa hormat dan terima kasih kepada Dr.- Ing. Ir. Ismoyo Haryanto, MT selaku dosen pembimbing, dan Dr.Rusnaldy, ST, MT, selaku co.pembimbing, yang telah memberikan bimbingan, dan pengarahan-pengarahan dalam menyusun tugas sarjana ini. Ucapan terima kasih juga penulis sampaikan kepada semua pihak yang telah membantu.

Dengan penuh kerendahan hati, penulis menyadari akan kekurangan dan keterbatasan pengetahuan yang dimiliki sehingga tentu saja laporan tugas sarjana ini masih jauh dari kesempurnaan, untuk itu penulis mengharapkan saran dan kritik yang membangun dari semua pihak.

Akhir kata semoga tugas sarjana ini dapat bermanfaat bagi pembaca dan semakin menambah kecintaan dan rasa penghargaan kita terhadap bidang *engeneering*.

Semarang, 24 Maret 2011

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
TUGAS SARJANA	ii
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	iii
HALAMAN PENGESAHAN	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI	v
ABSTRAK	vi
ABSTRACT	vii
MOTTO DAN PERSEMBAHAN	viii
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI	x
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL	xv
NOMENCLATUR	xvi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan dan Manfaat	3
1.2.1 Tujuan	3
1.2.2 Manfaat	3
1.3 Metode penelitian	3
1.4 Batasan Masalah	4
1.5 Sistematika Penulisan	5
BAB II DASAR TEORI	6
2.1 Baja Rel	6
2.1.1 Rel R.54	7
2.2 Pengelasan Rel	7
2.2.1 Las <i>Thermite</i>	7
2.2.2 Pengelasan SMAW (<i>shielded metal-arc welding</i>)	11
2.3 Konsep Tegangan	13

2.3.1 Tegangan Normal	13
2.3.2 Konsentrasi Tegangan	15
2.4 Hubungan Tegangan dan Regangan	18
2.4.1 Tegangan (<i>Stress</i>)	18
2.4.2 Regangan (<i>Strain</i>)	19
2.4.3 Luluh (<i>Yield</i>)	20
2.4.4 Elastisitas dan Plastisitas	22
2.4.5 Perbandingan Poisson (<i>Poisson Ratio</i>)	23
2.4.6 Hukum Hooke (<i>Hooke's law</i>)	25
2.5 Kriteria Kegagalan Material	25
2.5.1 Kriteria Kegagalan Statik	26
2.5.1.1 Teori Tegangan Normal Maksimal	26
2.5.1.2 Teori Tegangan Geser Maksimal	26
2.5.1.3 Teori Energi Distorsi	28
2.6 Metode Elemen Hingga	30
2.6.1 Konsep Dasar Analisis Metode Elemen Hingga	30
2.6.2 Jenis Elemen pada Metode Elemen Hingga	31
BAB III METODE ANALISA	35
3.1 Diagram Alir Penelitian	35
3.2 Pengujian Tarik	37
3.3 Variasi Pembebanan <i>Lokomotif</i>	39
3.4 Spesifikasi Roda <i>Lokomotif</i> dan Rel dalam Permodelan.....	40
3.5 Permodelan dengan Metode Element Hingga	41
3.5.1 Model Kontruksi	41
3.5.2 Memasukan Kondisi Batas Material	42
3.5.3 <i>Meshing</i>	45
3.5.4 Membuat <i>Contact Pair</i>	45
3.5.5 Data pembebanan	47
BAB IV HASIL DAN ANALISA	49
4.1 Hasil dan Analisa Permodelan	49
4.1.1 Hasil dan Analisa Permodelan pembebanan lokomotif D 300	49

4.1.2 Hasil dan Analisa Pemodelan pembebanan lokomotif CC 202	51
4.1.3 Hasil dan Analisa Pemodelan pembebanan lokomotif CC 203	52
4.2 Hubungan Pembebanan dengan Tegangan <i>Von Mises</i> Maksimum	53
4.3 Margin Of Safety (MS)	55
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	57
5.1 Kesimpulan	57
5.2 Saran	58
DAFTAR PUSTAKA.....	59
LAMPIRAN.....	60

DAFTAR GAMBAR

No. Gambar	Halaman
1.1 Daerah yang diteliti dalam pengelasan <i>thermite</i>	2
2.1 Profil rel kereta api <i>flat bottom</i>	6
2.2 Dimensi ukuran rel R.54	7
2.3 Pengelasan <i>thermite</i>	8
2.4 Proses pengelasan <i>thermite</i>	9
2.5 Pengelasan <i>thermite</i> dengan tekanan	10
2.6 Cetakan pengelasan <i>thermite</i> tanpa tekanan	11
2.7 proses <i>shielded metal-arc welding</i>	12
2.8 Skema pengoperasian <i>shielded metal-arc welding</i>	12
2.9 Konsep dasar tegangan normal rata-rata	13
2.10 Potongan balok dengan beban momen lentur murni	14
2.11 Distribusi tegangan di sekitar gaya terpusat	16
2.12 Faktor konsentrasi tegangan K	17
2.13 Faktor konsentrasi tegangan untuk batang-batang rata di tarik	17
2.14 Ilustrasi gaya pada spesimen uji tarik	18
2.15 <i>Yield Point</i> Material.....	20
2.16 Kekuatan luluh yang diperoleh dengan menggunakan metode <i>offset</i> sebesar 0.002	22
2.17 Sifat tegangan regangan tertentu pada logam menunjukkan elastis dan plastis, batas proporsional P dan kekuatan luluh σ_y , yang diperoleh dengan menggunakan metode <i>offset</i> sebesar 0.002	23
2.18 Penyusutan dan pemuai lateral dari benda-benda padat yang mengalami gaya-gaya aksial (efek Poisson)	24
2.19 Lingkaran <i>Morh's</i> untuk (a) tarikan, (b) puntiran murni	27

2.20	(a) Tegangan triaksial, (b) komponen hidrostatik (c) komponen distorsi	28
2.21	Perbandingan tiga teori kegagalan statik untuk material <i>ductile</i>	29
2.22	Elemen Garis	31
2.23	Elemen Bidang	31
2.24	Elemen Volume	32
2.25	(a). Model Elemen Persegi Empat, (b) Model Struktur Gabungan Dua Elemen Persegi Empat	32
3.1	Diagram Alir Analisa Tegangan dan kekuatan bahan.....	36
3.2	Daerah pemotongan sampel pengujian tarik	37
3.3	Spesimen uji	38
3.4	Dimensi ukuran roda <i>lokomotif</i>	40
3.5	Dimensi ukuran rel R.54	41
3.6	gambar rel dan roda <i>lokomotif</i>	42
3.7	<i>Element type</i> yang digunakan	43
3.8	<i>material attributes</i> yang digunakan.....	43
3.9	<i>Input material properties</i>	44
3.10	Material setelah digunakan <i>mesh sweep</i>	45
3.11	material yang dikontakan	46
3.12	<i>Plot element</i> material setelah kontak	46
3.13	<i>Force /moment plot</i>	47
3.14	<i>Plot element</i> setelah dikenakan <i>displacement</i>	48
4.1	distribusi tegangan <i>von misses</i> pada pembebanan sebesar 8.5 ton	50
4.2	distribusi tegangan <i>von misses</i> pada pembebanan sebesar 18 ton	51
4.3	distribusi tegangan <i>von misses</i> pada pembebanan sebesar 14 ton	53
4.4	Plot Hubungan Pembebanan Dengan Tegangan Von Misses Maksimum daerah <i>haz metal</i>	54
4.5	Plot Hubungan Pembebanan Dengan Tegangan Von Misses Maksimum daerah <i>weld metal</i>	55
4.6	Margin of safety material <i>haz metal</i> dan <i>weld metal</i>	56

DAFTAR TABEL

No. Tabel		Halaman
3.1	Tabel hasil pengujian tarik	38
3.2	Distribusi pembebanan pada tiap roda lokomotif	39
3.3	kondisi batas pada tiap material	44
3.4	pembebanan yang digunakan	47
4.1	hubungan tegangan <i>von misses</i> dengan pembebanan pada daerah <i>haz metal</i> dan <i>weld metal</i>	53
4.2	nilai <i>yield strength haz metal</i> dan <i>weld metal</i>	53
4.3	Margin of safety material <i>haz metal</i> dan <i>weld metal</i>	56

NOMENCLATUR

<i>A</i>	Luas permukaan tempatnya bekerja
<i>E</i>	Modulus elastisitas
<i>I</i>	Momen inersia penampang
<i>M</i>	Momen lentur
<i>P</i>	Gaya normal
<i>S_o</i>	Kekuatan luluh
<i>S_{yc}</i>	kekuatan luluh terhadap gaya tekan
<i>S_{yt}</i>	kekuatan luluh terhadap gaya tarik
<i>ε</i>	Regangan
<i>σ</i>	Tegangan
<i>σ_{avg}</i>	Tegangan rata-rata
<i>σ_{eq}</i>	Tegangan von misses
<i>σ_{eq}</i>	Tegangan von misses

