



**UNIVERSITAS DIPONEGORO**

**PENGARUH VARIASI PENAMBAHAN NIKEL (Ni) TERHADAP KEKUATAN  
LELAH (*FATIGUE STRENGTH*) BESI COR KELABU (*GREY CAST IRON*)  
DENGAN MENGGUNAKAN UJI LELAH PADA TEMPERATUR 300 °C**

**TUGAS AKHIR**

**FANI ADNAN SETIYAWAN  
L2E 006 037**

**FAKULTAS TEKNIK  
PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN**

**SEMARANG  
SEPTEMBER 2011**

## TUGAS SARJANA

Diberikan Kepada : Nama : Fani Adnan Setiyawan  
NIM : L2E 006 037

Dosen Pembimbing : Dr. Sri Nugroho, ST, MT

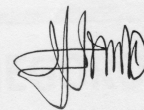
Jangka Waktu : -

Judul : **Pengaruh Variasi Penambahan Nikel (Ni) Terhadap Kekuatan Lelah (*Fatigue Strength*) Besi Cor Kelabu (*Grey Cast Iron*) Dengan Menggunakan Uji Lelah pada Temperatur 300 °C**

Isi Tugas : Mengetahui dan menganalisis pengaruh penambahan kadar nikel terhadap sifat mekanik dan kekuatan lelah dari besi cor kelabu. Hal-hal yang dianalisis meliputi uji komposisi kimia, uji kekerasan, uji tarik, uji struktur mikro dan uji lelah pada temperatur 300 °C. Hasil yang dicapai adalah analisis tentang sifat mekanik besi cor kelabu setelah penambahan variasi kadar nikel, meliputi komposisi kimia, nilai kekerasan dalam skala Brinell, kekuatan tarik, struktur mikro, dan kekuatan lelah besi cor kelabu.

Semarang, September 2011

Pembimbing

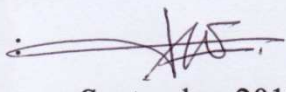


Dr. Sri Nugroho, ST, MT

NIP. 197501181999031001

## HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

NAMA : Fani Adnan S  
NIM : L2E 006 037  
Tanda Tangan :   
Tanggal : September 2011

## HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :

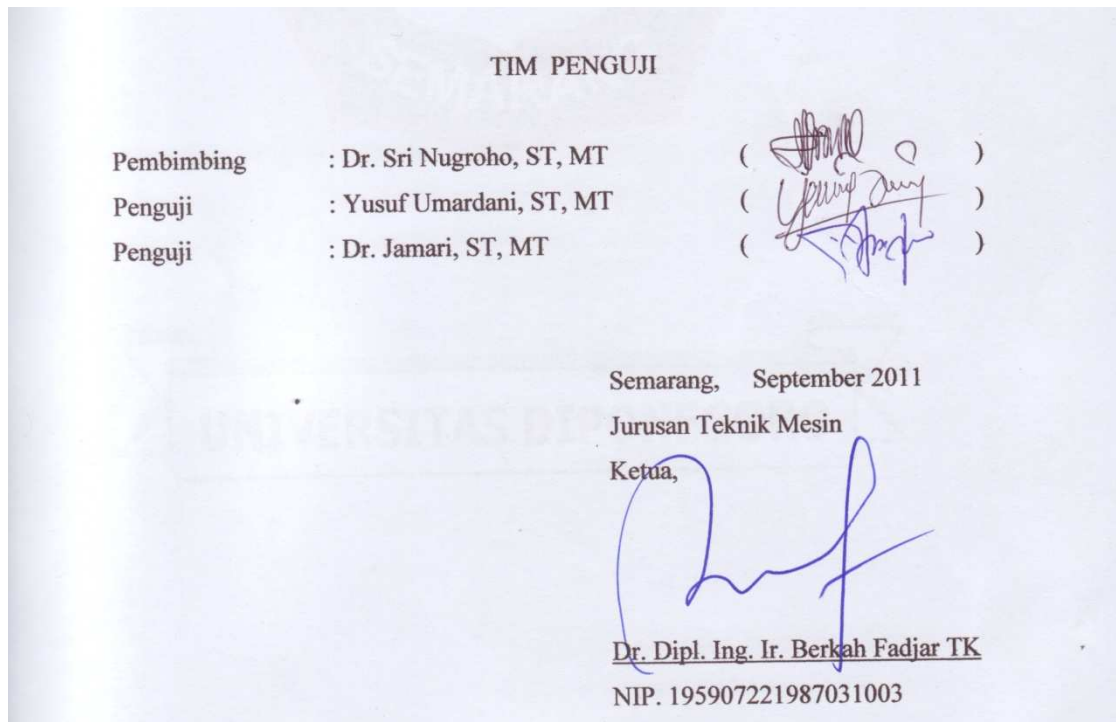
NAMA : Fani Adnan setiyawan

NIM : L2E 006 037

Jurusan/Program Studi : Teknik Mesin

Judul Skripsi : Pengaruh Variasi Penambahan Nikle (Ni) Terhadap Kekuatan Lelah (*Fatigue Strength*) Besi Cor Kelabu (*Grey Cast Iron*) dengan Menggunakan Uji Lelah pada Temperatur 300 °C

**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.**



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

---

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

Nama	: Fani Adnan Setiyawan
NIM	: L2E 006 037
Jurusan/Program Studi	: Teknik Mesin
Fakultas	: Teknik
Jenis Karya	: Tugas Akhir

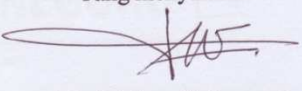
demikian demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Diponegoro **Hak Bebas Royalti Noneksklusif** (*None-exclusive Royalty Free Right*) atas karya ilmiah saya yang berjudul :

**“PENGARUH VARIASI PENAMBAHAN NIKEL TERHADAP KEKUATAN  
LELAH ( *FATIGUE STRENGTH* ) BESI COR KELABU DENGAN  
MENGUNAKAN UJI LELAH PADA TEMPERATUR 300 °C”**

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 mempublikasikan 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  
  
(Fani Adnan Setiyawan)

## MOTTO DAN PERSEMBAHAN

### **Motto :**

1. Ridho Allah SWT beserta dengan ridho Orang Tua, dan murka Allah SWT beserta murka Orang Tua.
2. Allah selalu beserta dengan orang-orang yang sabar.
3. Semua hal yang saya lakukan di dunia ini, tidak lain atas dasar mencari ridho Allah SWT semata.

### **Persembahan :**

Tugas akhir ini dengan bangga dan penuh rasa hormat penulis persembahkan kepada :

1. Alm. Sugiyarto, selaku ayah dari penulis. Penulis selalu ingin menjadi seperti beliau, namun beliau pernah berkata bahwa “jangan menjadi seperti ayah, tapi jadilah orang yang lebih baik dari ayah.” Terima kasih.
2. Riyanti, selaku ibu dari penulis. Tidak ada kata yang cukup untuk menggambarkan ketulusan kasih sayang, cinta, dan doa yang telah engkau berikan. Terima kasih untuk segala pengorbananmu dalam merawat kami yang tak henti-hentinya selalu merepotkanmu. Terima kasih.
3. Fajar Nur Nadjib, selaku adik dari penulis. Jadilah kebanggaan untuk kami. Terima kasih.
4. Dewi Febriana N.P, selaku adik dari penulis. Terima kasih.
5. Ibu Hennie Sulianti dan seluruh keluarga beserta AMSARA FOUNDATION untuk bantuan yang sangat berharga. Semoga Allah SWT membalas semua jasa dan kebaikan beliau sekeluarga.

## ABSTRAK

Besi cor kelabu merupakan jenis material yang banyak digunakan dalam industri pembuatan komponen-komponen dan suku cadang kendaraan bermotor. Diantara bagian-bagian tersebut adalah *drum brake*. Dalam pemakaiannya, *drum brake* mengalami beban yang berulang-ulang atau dinamik dan pemanasan hingga temperatur yang cukup tinggi, sehingga dapat patah atau gagal pada tingkat tegangan yang lebih rendah dari yang seharusnya jika dikenai sekali tegangan statis. Kegagalan seperti itu disebut kegagalan lelah (*fatigue failure*). Oleh karena itu untuk memprediksi umur besi cor kelabu yang terkena beban dinamik tersebut dilakukan uji lelah (*fatigue test*) pada temperatur 300 °C.

Penelitian ini dilakukan terhadap tiga jenis spesimen uji besi cor kelabu dengan parameter yang berbeda yaitu *base material* (0% Ni), campuran 1 (0.1% Ni), dan campuran 2 (0.2% Ni). Pengujian yang dilakukan adalah uji komposisi kimia dengan spektrometer, uji kekerasan dengan metode *Rockwell* skala A yang dikonversi ke metode *Brinell*. Uji tarik, uji metalografi dan uji lelah dengan *rotating bending machine*.

Dari hasil uji kekuatan mekanik dan uji lelah didapatkan nilai kekerasan dan kekuatan tarik berturut-turut dari *base material*, campuran 1, dan campuran 2 yaitu sebesar 195 HB, 216 HB, dan 234 HB. Nilai kekuatan tarik berturut-turut 217 MPa, 229 MPa, dan 236 MPa. Sedangkan untuk uji lelah didapatkan pada tingkat tegangan yang sama yaitu 169 MPa, untuk *base material* didapatkan siklus  $10^5$  dan campuran 1 dan campuran 2 didapatkan  $10^6$  siklus.

Kata kunci : besi cor kelabu, kekuatan lelah, uji lelah

## **ABSTRACT**

*Grey cast iron is a kind of material that is mostly used in the parts and spare parts of vehicle industries. One among them is the drum brake. By using, drum brake receives alternating load or dynamic load and high temperature reheating, and finally can be failed in lower stress than should be in once static load. That kind of failure is called fatigue failure. Thus, to predict the fatigue life of dynamically loaded grey cast iron is done by fatigue test at 300 °C temperature.*

*There are three specimens tested in this experiment, base material (0% Ni), mixture 1 (0.1% Ni), and mixture 2 (0.2% Ni). Chemical composition test by using spectrometer, tensile test in Rockwell A that is converted to Brinell, hardness test, metallography test, and fatigue test by using rotating bending machine are the tested tests.*

*From the hardness and tensile test, it is known that the values of hardness and tensile strength are increased in series, 195 HB, 216 HB, and 234 HB. And also 217 MPa, 229 MPa, and 236 MPa. In the fatigue test, by the same stress 169 MPa, the base material only reaches  $10^5$  cycles, but mixture 1 and mixture 2 reach  $10^6$  cycles.*

*Keywords : Grey cast iron, fatigue strength, fatigue test*



## KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT atas rahmat, hidayah, dan ridho yang diberikan kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan Tugas Sarjana ini. Tugas Sarjana yang berjudul “Pengaruh Variasi Penambahan Nikel (Ni) terhadap Kekuatan Lelah (Fatigue Strength) Besi Cor Kelabu (Grey Cast Iron) dengan Menggunakan Uji Fatigue pada Temperatur 300 °C” ini dimaksudkan sebagai syarat dalam menyelesaikan Pendidikan Tingkat Strata Satu (S1) Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Diponegoro Semarang.

Dalam kesempatan ini penulis ingin menyampaikan rasa hormat dan terimakasih kepada semua pihak yang telah membantu dan memberikan dorongan selama penyelesaian Tugas Sarjana ini, antara lain:

1. Bapak Agus Suprihanto, ST, MT dan Bapak Sri Nugroho, ST, MT, PhD selaku dosen pembimbing, yang telah memberikan bimbingan, pengarahan dan petunjuk kepada penulis dalam menyusun Tugas Sarjana ini sehingga dapat terselesaikan dengan baik.
2. Bapak Dr. Sulardjaka, ST, MT yang telah memberikan bantuan dan dorongan motivasi selama penelitian dan penyusunan Tugas Sarjana ini berlangsung.
3. Orang tua dan keluarga yang telah membantu dari segala segi. Terima kasih.
4. Teman seperjuangan dalam Tugas Sarjana ini, Ari Dwi Cahyono, ST. Terima kasih.
5. Keluarga besar kutukutu2006 yang telah membantu terselesaikannya Tugas Sarjana ini. Terima kasih.

Dengan penuh kerendahan hati, penyusun menyadari akan kekurangan dan keterbatasan pengetahuan yang penyusun miliki sehingga tentu saja penyusunan Tugas Sarjana ini jauh dari sempurna, untuk itu penyusun mengharapkan saran dan kritik yang membangun dari semua pihak demi kemajuan penulis untuk masa yang akan datang.

Semarang, September 2011

Penulis

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN TUGAS SARJANA.....	ii
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS.....	iii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN.....	v
HALAMAN PERSEMBAHAN .....	vi
HALAMAN ABSTRAK.....	vii
HALAMAN <i>ABSTRACT</i> .....	viii
KATA PENGANTAR .....	ix
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR GAMBAR .....	xiv
DAFTAR TABEL.....	xvi
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah .....	2
1.3 Batasan Masalah .....	3
1.4 Tujuan Pengujian .....	3
1.5 Metodologi Penyelesaian Masalah .....	3
1.6 Sistematika Penulisan .....	4
BAB II DASAR TEORI .....	5
2.1 Besi Cor Kelabu.....	5
2.2 Unsur-Unsur Kimia dalam Besi Cor .....	7
2.2.1 Karbon (C).....	7
2.2.2 Silikon (Si).....	8
2.2.3 Mangan (Mn).....	8
2.2.4 Belerang (S).....	9
2.2.5 Fosfor (P).....	9

2.2.6	Kromium (Cr) .....	9
2.2.7	Tembaga (Cu) .....	10
2.2.8	Nikel (Ni).....	11
2.2.9	Molibdenum (Mo) .....	12
2.3	Tipe Grafit Besi Cor .....	12
2.3.1	Tipe A .....	12
2.3.2	Tipe B .....	13
2.3.3	Tipe C .....	13
2.3.4	Tipe D .....	14
2.3.5	Tipe E.....	14
2.4	Struktur Fasa Besi Cor Kelabu .....	14
2.4.1	Grafit.....	14
2.4.2	Besi Karbida (Cementit).....	15
2.4.3	Ferit.....	16
2.4.4	Perlit.....	17
2.5	Sifat-Sifat Fisik dan Kimia Besi Cor Kelabu .....	17
2.5.1	Berat Jenis.....	17
2.5.2	Sifat Pemuai Panas.....	18
2.5.3	Konduktivitas Listrik.....	18
2.5.4	Ketahanan Korosi .....	18
2.6	Sifat Mekanik Besi Cor Kelabu .....	19
2.6.1	Kekuatan Tarik dan Perpanjangan.....	19
2.6.2	Kekuatan Tekan .....	19
2.6.3	Kekuatan Bentur .....	20
2.6.4	Kekerasan ( <i>Hardness</i> ) .....	20
2.6.5	Mampu Mesin dan Tahan Aus.....	21
2.7	Diagram Fasa Besi-Karbon (Fe-C).....	21
2.7.1	Austenit.....	23
2.7.2	Besi .....	23
2.7.3	Karbida Besi (Fe <sub>3</sub> C).....	24
2.8	Proses Pembekuan Besi Cor Kelabu .....	24

2.9	Pemilihan Bahan Baku untuk Peleburan .....	25
2.9.1	Bahan Baku Daur Ulang.....	25
2.9.2	Besi Kasar ( <i>Pig Iron</i> ).....	25
2.9.3	Skrap Besi Cor .....	26
2.9.4	Skrap Baja.....	27
2.9.5	Bahan Pembawa Paduan.....	28
2.10	Sifat Lelah Besi Cor Kelabu .....	28
2.10.1	Konsentrasi Tegangan .....	28
2.10.2	Kondisi Permukaan.....	30
2.10.3	Ukuran Benda Uji .....	33
2.10.4	Pengaruh Suhu .....	33
2.10.5	Ciri-Ciri Struktur Fatik .....	35
2.10.6	Perambatan Patah Lelah .....	38
2.10.7	Efek Variabel Metalurgi pada Sifat Lelah .....	39
2.10.8	Siklus Tegangan.....	39
2.10.9	Kelelahan Siklus Rendah .....	41
2.10.10	Kelelahan Siklus Tinggi .....	42
2.10.11	Kegagalan Lelah Kumulatif.....	42
2.11	Pengujian Bahan .....	43
2.11.1	Pengujian Kekerasan .....	43
2.11.2	Pengujian Tarik.....	45
2.11.3	Pengujian Komposisi Kimia.....	45
2.11.4	Pengujian Metalografi .....	46
2.11.5	Pengujian Lelah .....	46
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....		51
3.1	Diagram Alir Penelitian.....	51
3.2	Pembuatan Batang Uji .....	52
3.2.1	Pembuatan Pola .....	52
3.2.2	Pembuatan Cetakan .....	52
3.2.3	Pengaturan komposisi Kimia Besi Cor Kelabu.....	53

3.2.4 Peleburan dan Penuangan.....	54
3.2.5 Pembongkaran dan Pembersihan .....	55
3.2.6 <i>Test Bar</i> .....	55
3.3 Penyiapan Spesimen Uji .....	55
3.4 Proses Pengujian .....	56
3.4.1 Pengujian Komposisi Kimia .....	56
3.4.2 Pengujian Kekerasan .....	56
3.4.3 Pengujian Tarik.....	58
3.4.4 Pengujian Struktur Mikro .....	59
3.4.5 Pengujian Lelah .....	60
BAB IV DATA DAN ANALISA HASIL PENGUJIAN .....	67
4.1 Hasil Uji Komposisi Kimia .....	67
4.2 Hasil Uji Metalografi .....	70
4.3 Hasil Uji Kekerasan.....	73
4.4 Hasil Uji Tarik .....	75
4.5 Hasil Uji Lelah.....	76
BAB V PENUTUP.....	81
5.1 Kesimpulan .....	81
5.2 Saran .....	82
DAFTAR PUSTAKA .....	83
LAMPIRAN .....	84

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Kapasitas redam relatif untuk baja, besi cor <i>ductile</i> dan <i>malleable</i> serta besi cor kelabu.....	6
Gambar 2.2	Hubungn antara karbon akuivalen dengan kekuatan tarik.....	8
Gambar 2.3	Tipe grafir berbentuk <i>flake</i> sesuai dengan ASTM A247 .....	12
Gambar 2.4	Penyebaran matrik grafit dalam besi cor kelabu.....	15
Gambar 2.5	Matrik ferit dalam besi cor kelabu .....	16
Gambar 2.6	Struktur perlit dalam besi cor.....	17
Gambar 2.7	Grafik hubungan antara temperatur dengan berat jenis .....	18
Gambar 2.8	Hunbungan kekuatan tarik dengan derajat kejenuhan karbon .....	19
Gambar 2.9	Hubungan kekutan tarik dengan kekuatan tekan .....	20
Gambar 2.10	Hubungan kekuatan tarik dengan kekerasan pada besi cor kelabu.....	21
Gambar 2.11	Diagram fasa Fe-C .....	22
Gambar 2.12	Struktur kristal pemusatan sisi, kps (FCC): (a) model hard-ball; (b) unit cell; (c) kristal tunggal dengan beberapa unit cell .....	23
Gambar 2.13	Konsep W.A Wood mengenai deformasi mikro yang menyebabkan terjadinya retakan lelah. (a) Deformasi statik; (b) Deformasi lelah yang menyebabkan pembentukan takikan permukaan (intrusi); (c) Deformasi takik yang menyebabkan terjadinya ekstrusi pita gelincir .....	37
Gambar 2.14	Siklus tegangan lelah (a) Tegangan balik; (b) Tegangan berulang; (c) Siklus tegangan acak tak teratur .....	40
Gambar 2.15	Diagram Goodman.....	41
Gambar 2.16	Grafik atau skema uji tarik pada besi cor .....	45
Gambar 2.17	<i>Rotating Bending Testing Machine</i> .....	47
Gambar 2.18	Diagram benda bebas mesin uji <i>fatigue rotating bending</i> .....	48
Gambar 2.19	Tipe diagram S-N untuk <i>steel</i> dan <i>non ferrous metal</i> .....	49
Gambar 3.1	Diagram alir penelitian .....	52
Gambar 3.2	Bentonit.....	53
Gambar 3.3	Pasir .....	53
Gambar 3.4	<i>Test Bar</i> .....	55

Gambar 3.5	<i>Test piece</i> .....	56
Gambar 3.6	Mesin uji tarik merk Gotech model GT 7010 A2.....	58
Gambar 4.1	Diagram fasa Fe-C-Si sederhana dengan 2% Si.....	69
Gambar 4.2	Struktur mikro spesimen base material.....	71
Gambar 4.3	Struktur mikro spesimen campuran 1 .....	71
Gambar 4.4	Struktur mikro spesimen campuran 2 .....	72
Gambar 4.5	Grafik hasil perbandingan nilai kekerasan rata-rata material <i>base material</i> , campuran 1, dan campuran 2 .....	74
Gambar 4.6	Grafik perbandingan kekuatan tarik rata-rata pada material uji <i>base material</i> , campuran 1, dan campuran 2 .....	75
Gambar 4.7	Hubungan antara kekerasan Brinell dan kekuatan tarik .....	76
Gambar 4.8	Kurva tegangan (S)-siklus (N) untuk spesimen <i>base material</i> , campuran 1, dan campuran 2 .....	78

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Penggolongan skrap besi cor kelabu secara umum .....	27
Tabel 2.2	Daerah batas angka kekasaran permukaan yang khas $R_a$ .....	31
Tabel 2.3	Teknik pengujian kekerasan .....	44
Tabel 2.4	Macam skala untuk kekerasan Rockwell.....	44
Tabel 3.1	Rencana pengaturan komposisi kimia .....	53
Tabel 4.1	Hasil pengujian komposisi kimia.....	67
Tabel 4.2	Data hasil pengujian kekerasan pada skala HB .....	73
Tabel 4.3	Data hasil pengujian tarik .....	75
Tabel 4.4	Data hasil pengujian lelah pada base material .....	77
Tabel 4.5	Data hasil pengujian lelah pada campuran 1 .....	77
Tabel 4.6	Data hasil pengujian lelah pada campuran 2 .....	78