



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**PENGENDALIAN STRUKTUR  
AUSTENIT TERHADAP NUKLEASI FERIT  
PADA PROSES CANAI PANAS BAJA C-Mn**

**TESIS**

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Magister Teknik**

**ANTON NORMAN  
0806422896**

**FAKULTAS TEKNIK  
PROGRAM STUDI TEKNIK METALURGI DAN MATERIAL  
DEPOK  
JUNI 2010**

## HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

**Nama : Anton Norman**

**NPM : 0806422896**

**Tanda Tangan : .....**

**Tanggal : 25 Juni 2010**

## HALAMAN PENGESAHAN

Tesis ini diajukan oleh :  
Nama : Anton Norman  
NPM : 0806422896  
Program Studi : Teknik Metalurgi dan Material  
Judul Tesis : Pengendalian Struktur Austenit Terhadap  
Nukleasi Ferit Pada Proses Canai Panas Baja C-  
Mn

**Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Magister Teknik pada Program Studi Metalurgi dan Material, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia.**

### DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Dr. Ir. Myrna Ariati, MS (.....)  
Penguji : Dr. Ir. Dedi Priadi, DEA (.....)  
Penguji : Prof. Dr. Ir. Anne Zulfia, MSc (.....)  
Penguji : Dr. Ir. Sutopo, MSc (.....)

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 9 Juli 2010

## KATA PENGANTAR/UCAPAN TERIMA KASIH

Puji syukur saya panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, karena atas berkat dan rahmat-Nya, saya dapat menyelesaikan tesis ini. Penulisan tesis ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Magister Teknik Program Studi Teknik Metalurgi dan Material pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Saya menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan tesis ini, sangatlah sulit bagi saya untuk menyelesaikan tesis ini. Oleh karena itu, saya mengucapkan terima kasih kepada:

- (1) Dr. Ir. Myrna Ariati, MS, selaku dosen pembimbing tesis yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan tesis ini;
- (2) Prof. Dr-Ing. Ir. Bambang Suharno, selaku dosen pembimbing akademis yang telah memberikan bimbingan selama masa studi, sehingga saya dapat menyelesaikan studi S2 saya;
- (3) Direktorat Riset dan Pengabdian Masyarakat (DRPM) UI yang telah membantu dalam pendanaan sehingga saya dapat menyelesaikan tesis ini;
- (4) Deni Ferdian, ST. MSc yang telah memberikan dukungan dalam mendapatkan pendanaan riset S2 sehingga saya dapat menyelesaikan tesis ini;
- (5) Orang tua dan keluarga saya yang telah memberikan bantuan dukungan material dan moral; dan
- (6) Sahabat yang telah banyak membantu saya dalam menyelesaikan tesis ini.

Akhir kata, saya berharap Tuhan Yang Maha Esa berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga tesis ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu.

Depok, 25 Juni 2010

Penulis

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

---

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Anton Norman

NPM : 0806422896

Program Studi : Teknik Metalurgi dan Material

Departemen : Metalurgi dan Material

Fakultas : Teknik

Jenis karya : Tesis

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

**PENGENDALIAN STRUKTUR AUSTENIT TERHADAP NUKLEASI  
FERIT PADA PROSES CANAI PANAS BAJA C-Mn**

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia 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 : Depok

Pada tanggal : 25 Juni 2010

Yang menyatakan

( Anton Norman )

## ABSTRAK

Nama : Anton Norman  
Program Studi : Teknik Metalurgi dan Material  
Judul : Pengendalian Struktur Austenit Terhadap Nukleasi Ferit Pada Proses Canai Panas Baja C-Mn

Proses transformasi ferit dari austenit dapat ditingkatkan melalui proses deformasi panas di atas temperatur rekristalisasi. Struktur austenit setelah deformasi akan mempengaruhi ukuran ferit hasil transformasi, dimana dari ukuran butir austenit yang kecil akan mendapatkan ukuran butir ferit yang kecil. Pengerjaan di atas temperatur rekristalisasi tersebut ditujukan untuk mendapatkan struktur austenit yang halus sehingga dalam hal ini perlu dilakukan pengendalian terhadap ukuran butir austenit hasil deformasi panas.

Dalam penelitian ini, dilakukan proses canai panas terhadap baja C-Mn dengan variasi regangan di atas temperatur rekristalisasi. Setelah deformasi dilakukan pendinginan terputus (*interrupted cooling*) sebelum pendinginan udara untuk mendapatkan transformasi ferit dari struktur austenit yang aktual. Kemudian dilakukan pengujian metalografi untuk mengamati karakteristik struktur austenit dan struktur ferit hasil proses canai panas.

Hasil penelitian menunjukkan deformasi panas memberikan pengaruh terhadap pembentukan fraksi rekristalisasi. Dengan waktu tahan yang terjadi secara non isothermal, proses rekristalisasi terjadi cukup spontan pada temperatur lebih tinggi, 1060 °C, namun tidak efektif pada temperatur lebih rendah, 960 °C karena terjadi lebih lambat. Selanjutnya terdapat perubahan ukuran butir ferit, dari perbandingan kondisi tanpa deformasi dan dengan deformasi, dengan hasil cukup signifikan terlihat pada regangan besar, dari ukuran 39,82  $\mu\text{m}$  pada regangan ( $\epsilon$ ) 0 menjadi lebih kecil 20,31  $\mu\text{m}$  pada regangan 0,1; dan menjadi semakin kecil 15,04  $\mu\text{m}$  pada regangan 0,5 dengan waktu tahan ( $t$ ) 1 detik pada temperatur deformasi 1060 °C, dengan ukuran cukup seragam pada regangan besar. Hal ini dapat dijelaskan dengan proses rekristalisasi austenit yang telah selesai pada regangan besar sehingga karakteristik ferit mengikuti karakteristik austenit tersebut. Dari perhitungan laju nukleasi, didapat hasil yang meningkat dengan meningkatnya deformasi, dimana nukleasi ferit didominasi oleh nukleasi heterogenous dibandingkan homogenous karena banyaknya tempat potensial di batas butir akibat pengecilan butir austenit. Perubahan temperatur deformasi mendekati temperatur  $A_{r3}$ , telah memberikan pengaruh dimana terdapat peningkatan signifikan laju nukleasi 5,02  $\mu\text{m/s}$  pada regangan ( $\epsilon$ ) 0 menjadi lebih cepat 38,22  $\mu\text{m/s}$  pada regangan 0,1 pada temperatur deformasi 960 °C dengan waktu tahan ( $t$ ) 1 detik. Dan peningkatan regangan menghasilkan laju nukleasi yang lebih cepat beberapa kali lipat. Dari hasil ini dapat disimpulkan bahwa karakteristik ferit setelah deformasi panas, sangat ditentukan oleh karakteristik austenit yang dipengaruhi oleh besar regangan dan temperatur deformasi yang diaplikasikan.

**Kata kunci:** transformasi ferit, rekristalisasi austenit, pengendalian struktur austenit, laju nukleasi ferit

## ABSTRACT

Name : Anton Norman  
Study Program : Metallurgy and Materials  
Title : Controlling Austenite Structure on the Ferrite Nucleation on Hot Rolling of C-Mn steel

Transformation of austenite to ferrite can be enhanced through a process of hot deformation above the recrystallization temperature. Austenite structure after deformation will affect the size of the ferrite after transformation, where the small austenite grain size will get smaller ferrite grain size. Hot working above the recrystallization temperature is intended to obtain fine structure of austenite, so in this case needs to be done by controlling the austenite grain size after hot deformation.

This study is carried out on hot rolling of C-Mn steel with variation of strain above the recrystallization temperature. After hot deformation, the cooling was interrupted prior to air cooling to get the transformation of austenite to ferrite from the actual structure. Afterwards, metallography testing was performed to observe the characteristic of austenite and ferrite structure resulted from hot rolling.

Results showed that deformation has affected the formation of recrystallization fraction of austenite. With the holding time that took place non-isothermally, recrystallization process occurred quite spontaneously at higher temperature, 1060 °C, but not effective at lower temperature, 960 °C because it occurs more slowly. Furthermore, there is a change of ferrite grain size, from a comparison of conditions without deformation and with deformation, which significant results seen in the large strain; the size of 39.82  $\mu\text{m}$  at strain ( $\epsilon$ ) 0, become smaller to 20.31  $\mu\text{m}$  at strain 0.1, and become smallest to 15.04  $\mu\text{m}$  at strain 0.5 at holding time (t) 1 second on the deformation temperature of 1060 °C, with a fairly uniform size in large strain. This can be explained by the austenite recrystallization process has been completed at large strain so characteristic of austenite to ferrite follow these characteristics. From the nucleation rate calculation, the result is increased with increasing strain, which is dominated by the nucleation heterogenous than homogenous because of the many potential sites in the grain boundary austenite grains due to grain refining. Changes in deformation temperature approaching the temperature  $A_{r3}$ , has an impact where there is a significant increase of nucleation rate; from 5.02  $\mu\text{m/s}$  at strain ( $\epsilon$ ) 0 to be faster 38.22  $\mu\text{m/s}$  at strain 0.1 on deformation temperature of 960 °C with holding time (t) 1 second. And with increasing strain, resulting increasing of nucleation rate several times faster. From these results we can conclude the characteristics of ferrite after hot deformation, is largely determined by the characteristics of the austenite which is influenced by the applied strain and deformation temperature.

**Keywords:** ferrite transformation, austenite recrystallization, controlling austenite, ferrite nucleation rate

## DAFTAR ISI

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
KATA PENGANTAR/UCAPAN TERIMA KASIH .....	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS .....	v
ABSTRAK.....	vi
ABSTRACT.....	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR TABEL.....	x
DAFTAR GAMBAR.....	xi
BAB I.....	1
PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Tujuan.....	2
1.3 Ruang Lingkup.....	3
BAB II.....	4
STUDI LITERATUR.....	4
2.1 Mekanisme Penguatan pada Material Logam.....	4
2.2 Prinsip Proses Thermomekanik.....	6
2.2.1 Pengendalian Struktur Austenit.....	7
2.3 Fenomena Rekristalisasi Austenit.....	9
2.3.1 Rekristalisasi Dinamik.....	9
2.3.2 Rekristalisasi Statik.....	10
2.4 Transformasi Austenit-Ferit.....	12
2.4.1 Transformasi Austenit-Ferit.....	12
2.4.2 Pertumbuhan Ferit[8].....	13
BAB III.....	16
METODOLOGI PENELITIAN.....	16
3.1 Simulasi Awal.....	17
3.2 Persiapan Sampel dan Instrumen.....	17
3.3 Tahapan Penelitian.....	18



3.3.1	<i>Proses Deformasi Panas</i> .....	18
3.3.2	<i>Pengamatan Struktur Mikro dan Pengukuran Butir Ferit</i> .....	19
BAB IV .....		20
HASIL PENELITIAN.....		20
4.1	Struktur Mikro Butir Austenit.....	20
4.2	Hasil pengukuran butir austenit setelah canai panas.....	26
4.3	Struktur Mikro Butir Ferit.....	29
4.4	Hasil pengukuran butir ferit setelah pengendalian rekristalisasi.....	36
BAB V.....		39
PEMBAHASAN .....		39
5.1	Perubahan struktur Austenit setelah proses canai panas .....	39
5.2	Pembentukan Ferit setelah pengendalian struktur austenit .....	43
5.3	Perhitungan Laju Nukleasi Ferit .....	45
BAB VI .....		48
KESIMPULAN DAN SARAN.....		48
DAFTAR PUSTAKA .....		50
Lampiran 1: DATA THERMAL HISTORY .....		52
Lampiran 2: PERHITUNGAN-PERHITUNGAN.....		56
Lampiran 3: PENGUKURAN BUTIR .....		60

## DAFTAR TABEL

Tabel 3.1	Komposisi Material Penelitian .....	18
Tabel 3.2	Skema Pengambilan Data Berdasarkan Variabel .....	19
Tabel 4.1	Hasil Pengukuran Besar Butir Austenit ( $d\gamma$ ) pada setiap deformasi ( $\epsilon$ ) dan temperatur deformasi ( $T_1$ ) dengan waktu tahan ( $t$ ) sebelum celup air .....	26
Tabel 4.2	Hasil Pengukuran Besar Butir Ferit ( $d\alpha$ ) pada setiap deformasi ( $\epsilon$ ) dan temperatur deformasi ( $T_1$ ) dengan waktu tahan ( $t$ ) dengan pendinginan udara .....	36
Tabel 5.1	Hasil Perhitungan Laju Nukleasi Ferit pada setiap deformasi ( $\epsilon$ ) dan temperatur deformasi ( $T_1$ ) dengan waktu tahan ( $t$ ) .....	46
Tabel L2.1	Perhitungan Rekristalisasi .....	57
Tabel L2.2	Perhitungan Besar Butir Rekristalisasi .....	58
Tabel L2.3	Hasil Perhitungan Rasio Transformasi Austenit Ferit .....	59
Tabel L2.4	Perhitungan Laju Nukleasi Ferit Homogenous ( $I_h/\alpha$ ) .....	59
Tabel L2.5	Perhitungan Laju Nukleasi Ferit Heterogenous ( $I_s/\alpha$ ) .....	59
Tabel L3.1	Pengukuran Butir Austenit .....	62
Tabel L3.2	Pengukuran Butir Ferit .....	63

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Mekanisme penguatan pada logam dalam skala mikroskopik, seperti adanya presipitat, atom interstisi dan substitusi (larutan padat), serta penguatan batas butir[4] .....	4
Gambar 2.2	Batas butir sebagai <i>barrier</i> dalam menghalangi pergerakan dislokasi (searah <i>slip plane</i> )[5].....	5
Gambar 2.3	Efek dari ukuran butir ferit terhadap kekuatan luluh dan temperatur impak[4] .....	5
Gambar 2.4	Perbandingan metode proses canai panas[4].....	7
Gambar 2.5	Ilustrasi perubahan struktur selama proses thermomekanik canai panas[4] .....	8
Gambar 2.6	Aliran tegangan dalam proses pelunakan selama deformasi panas, dimana terdapat regangan kritis, $\epsilon_c$ untuk terjadinya rekristalisasi dinamik[6] .....	11
Gambar 2.7	Zona transisi morfologi ferit dari temperatur transformasi austenit terhadap komposisi karbon untuk Baja karbon[8] .....	14
Gambar 3.1	Diagram alir penelitian.....	16
Gambar 3.2	Siklus Pemanasan Pada Simulasi Awal (a) Pendinginan Celup Air (b) Pendinginan Udara .....	17
Gambar 3.3	Bentuk dan Dimensi Sampel pada proses canai panas (satuan dalam mm) .....	18
Gambar 3.4	Skema Pengujian Canai Panas, dilanjutkan dengan pendinginan (1) celup, dan (2) udara .....	19
Gambar 4.1	Struktur Mikro Butir Austenit Prior Baja C-Mn dengan Pemanasan Ulang 1150 °C dan temperatur celup 1060 °C. (Perbesaran 500X). 20	
Gambar 4.2	Struktur Mikro Butir Austenit Baja C-Mn setelah Deformasi Panas, dengan $\epsilon$ 0,1, pada temperatur $T_1$ 1060 °C dengan waktu tahan $t$ 1 detik. (Perbesaran 500X).....	21
Gambar 4.3	Struktur Mikro Butir Austenit Baja C-Mn setelah Deformasi Panas, dengan $\epsilon$ 0,1, pada temperatur $T_1$ 1060 °C dengan waktu tahan $t$ 5 detik. (Perbesaran 500X).....	21
Gambar 4.4	Struktur Mikro Butir Austenit Baja C-Mn setelah Deformasi Panas, dengan $\epsilon$ 0,1, pada temperatur $T_1$ 1060 °C dengan waktu tahan $t$ 10 detik. (Perbesaran 500X).....	22
Gambar 4.5	Struktur Mikro Butir Austenit Baja C-Mn setelah Deformasi Panas, dengan $\epsilon$ 0,2, pada temperatur $T_1$ 1060 °C dengan waktu tahan $t$ 1 detik. (Perbesaran 500X).....	22
Gambar 4.6	Struktur Mikro Butir Austenit Baja C-Mn setelah Deformasi Panas, dengan $\epsilon$ 0,2, pada temperatur $T_1$ 1060 °C dengan waktu tahan $t$ 5 detik. (Perbesaran 500X).....	23

Gambar 4.7 Struktur Mikro Butir Austenit Baja C-Mn setelah Deformasi Panas, dengan $\epsilon$ 0,2, pada temperatur $T_1$ 1060 °C dengan waktu tahan $t$ 10 detik. (Perbesaran 500X).....	23
Gambar 4.8 Struktur Mikro Butir Austenit Baja C-Mn setelah Deformasi Panas, dengan $\epsilon$ 0,5, pada temperatur $T_1$ 1060 °C dengan waktu tahan $t$ 1 detik. (Perbesaran 500X).....	24
Gambar 4.9 Struktur Mikro Butir Austenit Baja C-Mn setelah Deformasi Panas, dengan $\epsilon$ 0,5, pada temperatur $T_1$ 1060 °C dengan waktu tahan $t$ 5 detik. (Perbesaran 500X).....	24
Gambar 4.10 Struktur Mikro Butir Austenit Baja C-Mn setelah Deformasi Panas, dengan $\epsilon$ 0,1, pada temperatur $T_1$ 960 °C dengan waktu tahan $t$ 1 detik. (Perbesaran 500X).....	25
Gambar 4.11 Struktur Mikro Butir Austenit Baja C-Mn setelah Deformasi Panas, dengan $\epsilon$ 0,1, pada temperatur $T_1$ 960 °C dengan waktu tahan $t$ 5 detik. (Perbesaran 500X).....	25
Gambar 4.12 Struktur Mikro Butir Austenit Baja C-Mn setelah Deformasi Panas, dengan $\epsilon$ 0,2, pada temperatur $T_1$ 960 °C dengan waktu tahan $t$ 1 detik. (Perbesaran 500X).....	26
Gambar 4.13 Grafik Ukuran Butir Austenit terhadap regangan pada Temperatur Deformasi 1060 °C.....	28
Gambar 4.14 Grafik Ukuran Butir Austenit terhadap regangan pada Temperatur Deformasi 960 °C.....	28
Gambar 4.15 Struktur Mikro Butir Ferit Baja C-Mn tanpa deformasi pada temperatur $T_1$ 1060 °C. (Perbesaran 500X) .....	29
Gambar 4.16 Struktur Mikro Butir Ferit Baja C-Mn tanpa deformasi pada temperatur $T_1$ 960 °C. (Perbesaran 500X) .....	30
Gambar 4.17 Struktur Mikro Butir Ferit Baja C-Mn setelah Deformasi Panas, dengan $\epsilon$ 0,1, pada temperatur $T_1$ 1060 °C dengan waktu tahan $t$ 1 detik. (Perbesaran 500X).....	30
Gambar 4.18 Struktur Mikro Butir Ferit Baja C-Mn setelah Deformasi Panas, dengan $\epsilon$ 0,1, pada temperatur $T_1$ 1060 °C dengan waktu tahan $t$ 5 detik. (Perbesaran 500X).....	31
Gambar 4.19 Struktur Mikro Butir Ferit Baja C-Mn setelah Deformasi Panas, dengan $\epsilon$ 0,1, pada temperatur $T_1$ 1060 °C dengan waktu tahan $t$ 10 detik. (Perbesaran 500X).....	31
Gambar 4.20 Struktur Mikro Butir Ferit Baja C-Mn setelah Deformasi Panas, dengan $\epsilon$ 0,2, pada temperatur $T_1$ 1060 °C dengan waktu tahan $t$ 1 detik. (Perbesaran 500X).....	32
Gambar 4.21 Struktur Mikro Butir Ferit Baja C-Mn setelah Deformasi Panas, dengan $\epsilon$ 0,2, pada temperatur $T_1$ 1060 °C dengan waktu tahan $t$ 5 detik. (Perbesaran 500X).....	32

Gambar 4.22 Struktur Mikro Butir Ferit Baja C-Mn setelah Deformasi Panas, dengan $\epsilon$ 0,2, pada temperatur $T_1$ 1060 °C dengan waktu tahan $t$ 10 detik. (Perbesaran 500X).....	33
Gambar 4.23 Struktur Mikro Butir Ferit Baja C-Mn setelah Deformasi Panas, dengan $\epsilon$ 0,5, pada temperatur $T_1$ 1060 °C dengan waktu tahan $t$ 1 detik. (Perbesaran 500X).....	33
Gambar 4.24 Struktur Mikro Butir Ferit Baja C-Mn setelah Deformasi Panas, dengan $\epsilon$ 0,5, pada temperatur $T_1$ 1060 °C dengan waktu tahan $t$ 5 detik. (Perbesaran 500X).....	34
Gambar 4.25 Struktur Mikro Butir Ferit Baja C-Mn setelah Deformasi Panas, dengan $\epsilon$ 0,1, pada temperatur $T_1$ 960 °C dengan waktu tahan $t$ 1 detik. (Perbesaran 500X).....	34
Gambar 4.26 Struktur Mikro Butir Ferit Baja C-Mn setelah Deformasi Panas, dengan $\epsilon$ 0,1, pada temperatur $T_1$ 960 °C dengan waktu tahan $t$ 5 detik. (Perbesaran 500X).....	35
Gambar 4.27 Struktur Mikro Butir Ferit Baja C-Mn setelah Deformasi Panas, dengan $\epsilon$ 0,2, pada temperatur $T_1$ 960 °C dengan waktu tahan $t$ 1 detik. (Perbesaran 500X).....	35
Gambar 4.28 Grafik Ukuran Butir Ferit terhadap regangan pada Temperatur Deformasi 1060 °C.....	37
Gambar 4.29 Grafik Ukuran Butir Ferit terhadap regangan pada Temperatur Deformasi 960 °C.....	38
Gambar 5.1 Perbandingan pengamatan struktur mikro austenit setelah proses deformasi panas, (a) penelitian Fernandez dkk[10] dengan $[\epsilon]$ 0,3- $[T_1]$ 1100 °C – $[t]$ 1 detik; (b) hasil penelitian dengan $[\epsilon]$ 0,1- $[T_1]$ 1060 °C – $[t]$ 1 detik.....	39
Gambar 5.2 Perubahan struktur austenit setelah deformasi panas $T$ 1060 °C.....	40
Gambar 5.3 Perubahan struktur austenit setelah deformasi panas $T$ 960 °C.....	41
Gambar 5.4 Regangan Kritis yang diperlukan untuk terjadinya rekristalisasi terhadap ukuran butir austenit mula-mula pada beberapa jenis baja. [12] .....	43
Gambar 5.5 Perbandingan struktur ferit hasil deformasi panas pada temperatur $T_1$ dengan $\epsilon$ (a) 0,1 dan (b) 0,5.....	44
Gambar 5.6 Grafik hubungan antara laju nukleasi homogenous, $I_h/\alpha$ terhadap deformasi $[\epsilon]$ dalam waktu tahan tertentu $[t]$ pada $T_1$ 1060 dan 960 °C.....	47
Gambar 5.7 Grafik hubungan antara laju nukleasi heterogenous, $I_s/\alpha$ terhadap deformasi $[\epsilon]$ dalam waktu tahan tertentu $[t]$ pada $T_1$ 1060 dan 960 °C.....	47