

**PENGARUH VARIASI TEMPERATUR TEMPERING
TERHADAP STRUKTUR MIKRO DAN STRUKTUR KRISTAL
PADA BAJA KARBON SEBAGAI BAHAN MANDRILL**

SKRIPSI

Oleh:

IKHRAR DAMAI TULLAH

NIM : 2151057012



**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS KRISTEN INDONESIA
JAKARTA
2023**

**PENGARUH VARIASI TEMPERATUR TEMPERING
TERHADAP STRUKTUR MIKRO DAN STRUKTUR KRISTAL
PADA BAJA KARBON SEBAGAI BAHAN MANDRILL**

SKRIPSI

Diajukan untuk memenuhi persyaratan akademik guna memperoleh gelar Sarjana Teknik (S.T)
pada Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik
Universitas Kristen Indonesia

Oleh

IKHRAR DAMAI TULLAH

2151057012



**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS KRISTEN INDONESIA
JAKARTA
2023**



PERNYATAAN KEASLIAN KARYA TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Ikhrar Damai Tullah
NIM : 2151057012
Program Studi : Teknik Mesin
Fakultas : Teknik

Dengan ini menyatakan bahwa karya tulis tugas akhir yang berjudul “Pengaruh Variasi Temperatur Tempering Terhadap Struktur Mikro dan Struktur Kristal pada Baja Karbon Sebagai Bahan Mandrill” adalah:

1. Dibuat dan diselesaikan sendiri dengan menggunakan hasil kuliah, tinjauan lapangan, buku–buku dan jurnal acuan yang tertera di dalam referensi pada karya tugas akhir saya.
2. Bukan merupakan duplikasi karya tulis yang sudah dipublikasikan atau yang pernah dipakai untuk mendapatkan gelar sarjana di universitas lain, kecuali pada bagian-bagian sumber informasi yang dicantumkan dengan cara referensi yang semestinya.
3. Bukan merupakan karya terjemahan dari kumpulan buku atau jurnal acuan yang tertera di dalam referensi pada tugas.

Kalau terbukti saya tidak memenuhi apa yang dinyatakan di atas, maka karya tugas akhir ini dianggap batal.

Jakarta, 12 Juli 2023



Ikhrar Damai Tullah



UNIVERSITAS KRISTEN INDONESIA
FAKULTAS TEKNIK

PERSETUJUAN DOSEN PEMBIMBING TUGAS AKHIR
“PENGARUH VARIASI TEMPERATUR TEMPERING TERHADAP
STRUKTUR MIKRO DAN STRUKTUR KRISTAL PADA BAJA KARBON
SEBAGAI BAHAN MANDRILL”

Oleh:

Nama : Ikhrar Damai Tullah
NIM : 2151057012
Program Studi : Teknik Mesin

Telah diperiksa dan disetujui untuk diajukan dan dipertahankan dalam Sidang Tugas Akhir guna mencapai gelar Sarjana Strata Satu pada Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Kristen Indonesia.

Jakarta, 12 Juli 2023

Menyetujui:

Pembimbing I

(Ir. Budiarto, M.Sc.)
[NIDN 0302115801]

Pembimbing II

(Yulius Nanang, S.T.,M.T.)
[NIDN 042709303]

Ketua Program Studi Teknik Mesin



(Ir. Budiarto, M.Sc)

Dekan



(Dikky Antonius, S.T.,M.Sc)







UNIVERSITAS KRISTEN INDONESIA
FAKULTAS TEKNIK

PERSETUJUAN TIM PENGUJI TUGAS AKHIR

Pada 12 Juli 2023 telah diselenggarakan Sidang Tugas Akhir untuk memenuhi sebagian persyaratan akademik guna memperoleh gelar Sarjana Strata Satu pada Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Kristen Indonesia, atas nama:

Nama : Ikhrar Damai Tullah
NIM : 2151057012
Program Studi : Teknik Mesin
Fakultas : Teknik

Termasuk ujian Tugas Akhir yang berjudul "Pengaruh Variasi Temperatur Tempering Terhadap Struktur Mikro dan Struktur Kristal pada Baja Karbon Sebagai Bahan Mandrill" oleh tim penguji yang terdiri dari:

Nama Penguji	Jabatan dalam Tim Penguji	Tanda Tangan
1. Dikky Antonius, S.T.,M.Sc	Sebagai Ketua	
2. Ir. Budiarto, M.Sc	Sebagai Anggota	
3. Yulius Nanang , S.T,M.T	Sebagai Anggota	
4. FX.Suryadi, Dipl. Ing. FH.Sc	Sebagai Anggota	

Jakarta, 12 Juli 2023

Catatan:



Pernyataan dan Persetujuan Publikasi Tugas Akhir

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Ikhrar Damai Tullah

NIM : 2151057012

Fakultas : Teknik

Program Studi : Teknik Mesin

Jenis Tugas Akhir : Skripsi

Judul : Pengaruh Variasi Temperatur Tempering Terhadap

Struktur Mikro dan Struktur Kristal pada Baja Karbon Sebagai Bahan Mandrill

Menyatakan bahwa:

1. Tugas akhir tersebut adalah benar karya saya dengan arahan dari dosen pembimbing dan bukan merupakan duplikasi karya tulis yang sudah dipublikasikan atau yang pernah dipakai untuk mendapatkan gelar akademik di perguruan tinggi manapun;
2. Tugas akhir tersebut bukan merupakan plagiat dari hasil karya pihak lain, dan apabila saya/kami mengutip dari karya orang lain maka akan dicantumkan sebagai referensi sesuai dengan ketentuan yang berlaku;
3. Saya memberikan Hak Noneksklusif Tanpa Royalti kepada Universitas Kristen Indonesia yang berhak menyimpan, mengalih media/format-kan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat dan mempublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilih hak cipta.

Apabila di kemudian hari ditemukan pelanggaran Hak Cipta dan Kekayaan Intelektual atau Peraturan Perundangan-undangan Republik Indonesia lainnya dan integritas akademik dalam karya saya tersebut, maka saya bersedia menanggung secara pribadi segala bentuk tuntutan hukum dan sanksi akademis yang timbul serta membebaskan Universitas Kristen Indonesia dari segala tuntutan hukum yang berlaku.

Dibuat di Jakarta

Pada Tanggal 12-07-2023



(Ikhrar Damai Tullah)

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa atas rahmat dan karunianya yang tiada batas sehingga penulisan Tugas Akhir ini dapat terselesaikan.

Tugas akhir ini dibuat untuk memenuhi syarat dalam menempuh ujian akhir sarjana Strata satu (S-1) pada program studi Teknik Mesin Universitas Kristen Indonesia, Jakarta.

Laporan tugas Akhir ini memang sangat jauh dari kesempurnaan, oleh karena itu penulis mengharapkan kritikan dari pembaca sekalian, yang akhirnya buku laporan Tugas Akhir ini nantinya semakin sempurna dan dapat berguna serta bermanfaat untuk kemajuan bersama.

Tugas akhir ini dapat diselesaikan berkat bimbingan dan bantuan baik secara moral dan moril dari berbagai pihak, dan pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terimakasih yang sebesar – besarnya kepada :

1. Kedua orang tua yang saya hormati, yang telah menguliahkan saya
2. Bapak Budiarto dan Bapak Nanang selaku dosen pembimbing yang telah meluangkan waktu untuk membimbing serta memberikan pengarahan sehingga tugas akhir ini dapat terselesaikan dengan baik.
3. Teman seperjuangan yang membantu dalam penyelesaian TA

Jakarta, 12 Juli 2023



(Ikhrar Damai Tullah)

Daftar Isi

PERNYATAAN KEASLIAN KARYA TUGAS AKHIR.....	ii
PERNYATAAN KEASLIAN KARYA TUGAS AKHIR.....	ii
PERSETUJUAN DOSEN PEMBIMBING TUGAS AKHIR	iii
PERSETUJUAN TIM PENGUJI TUGAS AKHIR.....	iv
KATA PENGANTAR	vi
Daftar Isi.....	vii
Daftar Gambar.....	ix
Daftar Tabel	x
Abstrak	xi
<i>Abstract</i>	xii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan Penelitian	4
1.3 Rumusan dan Batasan Masalah	4
1.3.1 Rumusan Masalah	4
1.3.2 Batasan Masalah.....	4
1.4 Waktu dan Tempat.....	5
1.5 Metode Penelitian	5
BAB II LANDASAN TEORI	6
2.1 Baja	6
2.2 Klasifikasi Bahan	7
2.3 Sifat Mekanik Baja	8
2.4 Strukur Kristal Baja	10
2.5 Struktur Mikro Baja	12
2.6 Perlakuan Panas (<i>Heat Treatment</i>)	14
2.6.1 Quenching	15
2.6.2 Tempering	15
2.6.3 Normalizing.....	16
2.6.4 Annealing	17
2.7 Penahanan Suhu atau Holding Time.....	17
2.8 Media Pendingin	18

2.9	Pengujian Baja	19
2.10	Diagram Fasa Fe-Fe ₃ C	20
2.11	X-Ray Diffraction (XRD)	
2.12	Scanning Electron Microscope – Energy EDX)	
2.13	Roda Gigi (Gear).....	27
BAB III METOLOGI PENELITIAN		31
3.1	Tempat dan Waktu Penelitian.....	31
3.2	Diagram Penelitian.....	32
3.3	Bahan Penelitian	34
3.4	Alat.....	34
3.5	Variabel Penelitian.....	34
3.6	Prosedur Penelitian	35
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		37
4.1	Hasil Pembuatan Spesimen Uji Paduan.....	37
4.2	Quenching dan Tempering.....	37
4.3	Pengujian XRD	38
4.4	Pengujian SEM/EDX.....	44
4.4.1	Data Hasil Pengujian SEM	45
4.4.2	Analisa Hasil Pengujian SEM.....	48
4.4.4	Pembahasan Hasil Pengujian SEM-EDX.....	50
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....		52
5.1	Kesimpulan	52
5.2	Saran	52
DAFTAR PUSTAKA		54

Daftar Gambar

Gambar 2. 1 Struktur kristal BCC.....	10
Gambar 2. 2 Struktur kristal pada FCC.....	11
Gambar 2. 3 Stuktur kristal HCP	11
Gambar 2. 4 Struktur kristal BCT	12
Gambar 2. 5 Struktur mikro pada ferit	12
Gambar 2. 6 Struktur mikro pada Austenit	13
Gambar 2. 7 Struktur mikro pada semenit	13
Gambar 2. 8 Struktur mikro pada perlit	14
Gambar 2. 9 Struktur mikro martensit	14
Gambar 2. 10 Diagram Untuk Temperatur Normalizing	17
Gambar 2. 11 Diagram Fasa Fe-C dan Fe ₃ C	20
Gambar 2.12 Lintasan Berkas Sinar X Yang Mengenai Kristal	23
Gambar 2.13 Difraksi Bragg	24
Gambar 2.14 X-Ray Diffraction (XRD)	25
Gambar 2. 15 Klasifikasi Roda Gigi	29
Gambar 4. 1 Spesimen sebelum dipanaskan	37
Gambar 4. 2 Difraktogram sinar-X	39
Gambar 4. 3 Grafik perbandingan perubahan ukuran kristal	41
Gambar 4. 4 Grafik perbandingan perubahan kerapatan dislokasi	42
Gambar 4. 5 Grafik perbandingan perubahan regangan	43

Daftar Tabel

Tabel 2. 1 Klasifikasi Roda Gigi.....	28
Tabel 4. 1 Matriks perancangan spesimen pengujian	38
Tabel 4. 2 Hasil olah data XRD spesimen 1	39
Tabel 4. 3 Hasil olah data XRD spesimen 2	39
Tabel 4. 4 Hasil olah data XRD spesimen 3	40
Tabel 4. 5 Hasil olah data XRD spesimen 4	40
Tabel 4. 6 Analisa hasil pengujian XRD.....	41
Tabel 4. 7 Hasil micrograph SEM.....	45
Tabel 4. 8 Hasil micrograph SEM komposisi bahan.....	47
Tabel 4. 9 Hasil uji EDX Spectrum	49
Tabel 4.10 Hasil uji EDX.....	50



Abstrak

Baja yaitu suatu logam paduan yang tersusun atas unsur karbon (C) dan besi (Fe). Karbon yang terkandung pada baja dapat mencapai 2% dan juga terdapat unsur-unsur lain yakni mangan (Mn), fosfor (P), silicon (Si), dan belerang (S) dalam jumlah kecil. Penulisan ini menjelaskan pengaruh waktu *tempering* terhadap struktur kristal dan struktur mikro pada baja, serta menjelaskan komposisi yang terdapat pada baja bahan uji. Pengujian dilakukan dengan pengamatan struktur kristal menggunakan Difraktometer Sinar-X (XRD), pengamatan struktur mikro dan komposisi material menggunakan *Scanning Electron Microscopy – Energy Dispersive X-ray* (SEM-EDX). Hasil menunjukkan bahwa struktur kristal dan struktur mikro sangat dipengaruhi oleh proses *quenching* maupun *tempering*. Kenaikan ukuran kristal terjadi setelah proses *tempering* dengan suhu 425° C dari 34.33 (nm) menjadi 52.31 (nm). Terjadi penurunan kerapatan dislokasi setelah proses *tempering* dengan suhu 425° C dari 0.00085 (garis/mm²) menjadi 0.00085 (garis/mm²). Begitu pula pada regangan mikro setelah proses *tempering* dengan suhu 425° C terjadi penurunan dari 0.25 (ε) menjadi 0.19 (ε). Pada material uji memiliki beberapa komposisi seperti *iron* (Fe), *oxygen* (O), *manganese* (Mn), *sodium* (Na), *chromium* (Cr), *calcium* (Ca) dan *carbon* (C). Pengujian struktur mikro terjadi penurunan dari atom *iron* (Fe) setelah proses *tempering* dari 65.79% menjadi 42.96%, penurunan atom juga terjadi pada *manganese* (Mn) dari 0.51% menjadi 0.34% setelah proses *tempering*. Terjadi peningkatan atom pada *oxygen* (O) setelah proses *tempering* dari 33.31% menjadi 54.23%, peningkatan presentasi atom juga terjadi pada *sodium* (Na) dari 0.33% menjadi 2.46% setelah proses *tempering*.

Kata Kunci: baja, *tempering*, *quenching*, struktur kristal, struktur mikro

Abstract

Steel is a metal alloy composed of the elements carbon (C) and iron (Fe). The carbon contained in steel can reach 2% and there are also other elements, namely manganese (Mn), phosphorus (P), silicon (Si), and sulfur (S) in small quantities. This paper explains the effect of tempering time on the crystal structure and microstructure of steel, and explains the composition of the tested steel material. Tests were carried out by observing the crystal structure using an X-Ray Diffractometer (XRD), observing the microstructure and material composition using Scanning Electron Microscopy – Energy Dispersive X-ray (SEM-EDX). The results show that the crystal structure and microstructure are strongly influenced by the quenching and tempering processes. The increase in crystal size occurred after the tempering process at 425° C from 34.33 (nm) to 52.31 (nm). There was a decrease in dislocation density after tempering at 425°C from 0.00085 (lines/mm²) to 0.00085 (lines/mm²). Likewise, the microstrain after the tempering process at 425°C decreased from 0.25 (ε) to 0.19 (ε). The test material has several compositions such as iron (Fe), oxygen (O), manganese (Mn), sodium (Na), chromium (Cr), calcium (Ca) and carbon (C). Microstructure testing showed a decrease in iron (Fe) atoms after the tempering process from 65.79% to 42.96%, a decrease in atoms also occurred in manganese (Mn) from 0.51% to 0.34% after the tempering process. There was an increase in atoms in oxygen (O) after the tempering process from 33.31% to 54.23%, an increase in the atomic presentation also occurred in sodium (Na) from 0.33% to 2.46% after the tempering process.

Keywords: *steel, tempering, quenching, crystal structure, microstructure*