

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

SKRIPSI

Oleh:

PEREGRINE LAZIOSI FINKAN HADY

2151057003



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

2023

**PENGARUH VARIASI WAKTU *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:

PEREGRINE LAZIOSI FINKAN HADY

2151057003



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

2023



PERNYATAAN KEASLIAN KARYA TUGAS

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Peregrine Laziosi Finkan Hady

NIM : 2151057003

Program Studi : Teknik Mesin

Fakultas : Teknik

Dengan ini menyatakan bahwa karya tulis tugas akhir yang ber judul “Pengaruh Variasi Waktu *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, 05 Desember 2023



(Peregrine Laziosi Finkan Hady)



UNIVERSITAS KRISTEN INDONESIA
FAKULTAS TEKNIK

PERSETUJUAN DOSEN PEMBIMBING TUGAS AKHIR
“Pengaruh Variasi Waktu *Tempering* Terhadap Struktur Mikro Dan Struktur Kristal
Pada Baja Karbon Sebagai Bahan Mandrill”

Oleh:

Nama : Peregrine Laziosi Finkan Hady
NIM : 2151057003
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 Sutrisno S.T., M.T.)
[NIDN 0427079303]

Ketua Program Studi Teknik Mesin

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 : Peregrine Laziosi Finkan Hady

NIM : 2151057003

Program Studi : Teknik Mesin

Fakultas : Teknik

Termasuk ujian Tugas Akhir yang berjudul “Pengaruh Variasi Waktu *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 Sutrisno S.T., M.T	Sebagai Anggota	
4. FX.Suryadi, Dipl. Ing. FH.Sc	Sebagai Anggota	

Jakarta, 12 Juli 2023



UNIVERSITAS KRISTEN INDONESIA

PERNYATAAN DAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Peregrine Laziosi Finkan Hady
NIM : 2151057003
Fakultas : Teknik
Program Studi : Teknik Mesin
Jenis Tugas Akhir : Skripsi
Judul : Pengaruh Variasi Waktu *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, 05 Desember 2023



(Peregrine Laziosi Finkan Hady)


KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa atas rahmat dan karunia-Nya 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 mendukung kuliah saya.
2. Bapak Ir. Budiarto, M.Sc. selaku pembimbing pertama dan bapak Yulius Nanang S, S.T., M.T selaku pembimbing kedua yang telah meluangkan waktu untuk membimbing serta memberikan pengarahan sehingga tugas akhir ini dapat terselesaikan dengan baik.
3. Dosen penguji tugas akhir Universitas Kristen Indonesia.
4. Seluruh dosen dan staff Universitas Kristen Indonesia.
5. Yustina Edi Dyas Winarti yang telah memberikan dukungan dan semangat pada saat pengerjaan tugas akhir.

Jakarta, 05 Desember 2023



Peregrine Laziosi Finkan Hady

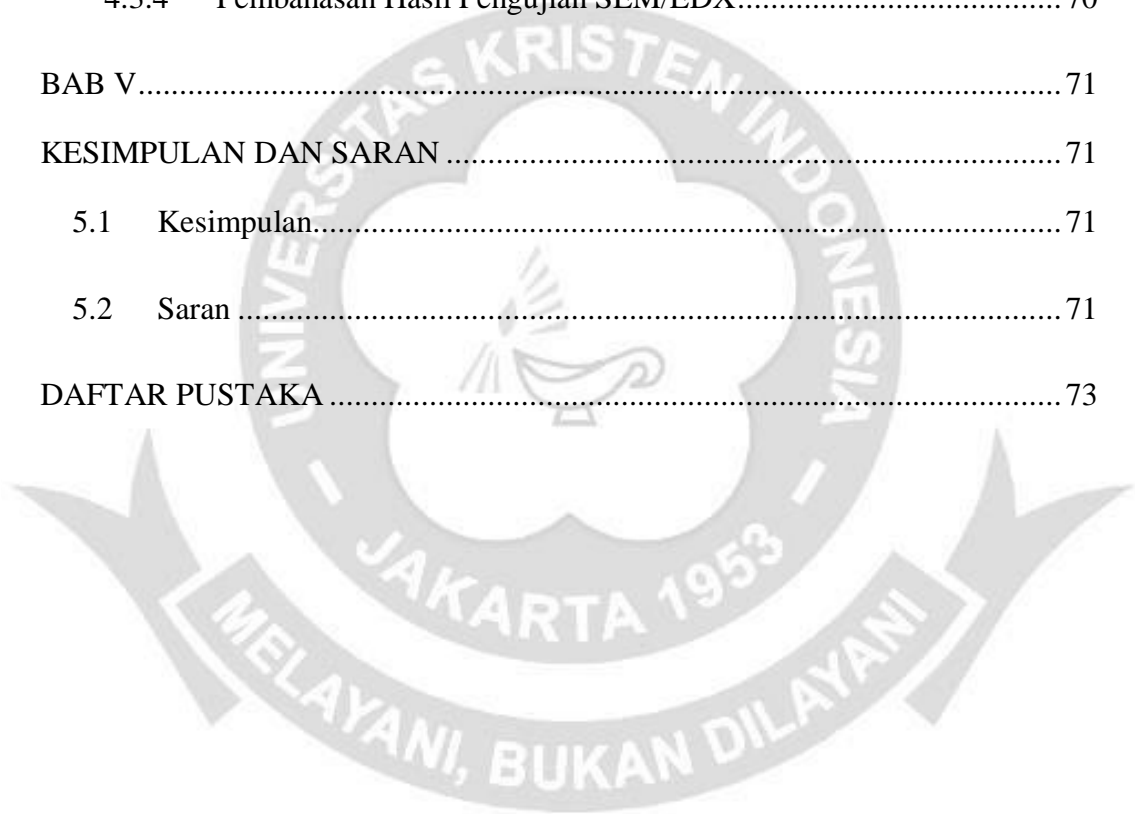
DAFTAR ISI

PERNYATAAN KEASLIAN KARYA TUGAS AKHIR	ii
PERSETUJUAN DOSEN PEMBIMBING TUGAS AKHIR	iii
PERSETUJUAN TIM PENGUJI TUGAS AKHIR	iii
PERNYATAAN DAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR ISTILAH	xiv
Abstrak	xv
<i>Abstract</i>	xvi
BAB I	1
PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Batasan Masalah	4
1.4 Tujuan Penelitian	5
1.5 Manfaat Penelitian	5
1.6 Sistematika Penulisan	6
1.6.1 Bab I Pendahuluan	6
1.6.2 Bab II Landasan Teori	6

1.6.3	Bab III Metode Penelitian	6
1.6.4	Bab IV Pembahasan.....	6
1.6.5	Bab V Kesimpulan dan Saran	6
BAB II.....		7
LANDASAN TEORI.....		7
2.1	Baja	7
2.1.1	Baja Karbon Rendah.....	8
2.1.2	Baja Karbon Sedang	9
2.1.3	Baja Karbon Tinggi	9
2.1.4	Baja Paduan.....	9
2.2	Sifat Mekanik Baja	11
2.3	Struktur Mikro Baja.....	12
2.4	Struktur Kristal Baja	15
2.5	Perlakuan Panas (<i>Heat Treatment</i>).....	17
2.5.1	<i>Normalizing</i>	19
2.5.2	<i>Quenching</i>	21
2.5.3	<i>Tempering</i>	25
2.5.4	<i>Annealing</i>	26
2.6	<i> Holding time</i>	27
2.7	Media Pendingin.....	27

2.8	Diagram Fasa Fe-Fe ₃ C	29
2.9	Pengujian Baja.....	31
2.10	XRD (<i>X-Ray Diffraction</i>)	32
2.11	SEM-EDX (<i>Scanning Electron Microscope – Energy Dispersive X – Ray</i>)	36
2.12	Roda Gigi (<i>Gear</i>)	38
2.13	Klasifikasi Roda Gigi (<i>Gear</i>).....	39
BAB III.....		44
METODOLOGI PENELITIAN		44
3.1	Tempat dan Waktu Penelitian	44
3.2	Diagram Penelitian	46
3.3	Bahan Penelitian.....	48
3.4	Alat.....	49
3.5	Variabel Penelitian.....	51
3.6	Prosedur Penelitian	52
BAB IV		54
HASIL DAN PEMBAHASAN		54
4.1	Hasil Pembuatan Spesimen Uji Baja Karbon.....	54
4.2	Pengujian XRD.....	55
4.2.1	Data Hasil Pengujian XRD	55
4.2.2	Analisa Hasil Pengujian XRD	59

4.2.3	Pembahasan Hasil Pengujian XRD	62
4.3	Pengujian SEM/EDX.....	63
4.3.1	Data Hasil Pengujian SEM.....	64
4.3.2	Analisa Hasil Pengujian SEM	67
4.3.3	Analisa Hasil Pengujian EDX	67
4.3.4	Pembahasan Hasil Pengujian SEM/EDX.....	70
BAB V	71
KESIMPULAN DAN SARAN	71
5.1	Kesimpulan.....	71
5.2	Saran	71
DAFTAR PUSTAKA	73



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Tampak Struktur Baja Zat Arang	8
Gambar 2. 2 Struktur Mikro Ferit.....	13
Gambar 2. 3 Struktur Mikro Perlit.....	13
Gambar 2. 4 Struktur Mikro Bainit.....	14
Gambar 2. 5 Struktur Mikro Martensit	15
Gambar 2. 6 Struktur Mikro Sementit	15
Gambar 2. 7 Struktur Kristal BCC	16
Gambar 2. 8 Struktur Kristal FCC.....	16
Gambar 2. 9 Struktur Kristal HCP.....	17
Gambar 2. 10 Struktur Kristal BCT.....	17
Gambar 2. 11 Diagram Untuk Temperatur Normalizing	20
Gambar 2. 12 Diagram Isothermal Transformation	23
Gambar 2. 13 Continuous Cooling Transformation Diagram.....	24
Gambar 2. 14 Diagram Fasa Fe-C dan Fe ₃ C	30
Gambar 2. 15 Lintasan Berkas Sinar X Yang Mengenai Kristal	33
Gambar 2. 16 Difraksi Bragg	34
Gambar 2. 17 X-Ray Diffraction (XRD)	35
Gambar 2. 18 Skema Diagram Bergulir Gigi.....	39
Gambar 2. 19 Klasifikasi Roda Gigi.....	40
Gambar 3. 1 <i>Design</i> 3D mesin expand dan <i>coil</i>	44
Gambar 3. 2 <i>Design</i> 2D mesin expand dan <i>coil</i>	44
Gambar 3. 3 <i>Design</i> Spesimen	48

Gambar 3. 4 Oli SAE 20W - 50.....	48
Gambar 3. 5 Tungku Listrik	49
Gambar 3. 6 Gerinda Tangan	49
Gambar 3. 7 Bak Media Pendingin.....	49
Gambar 3. 8 Penjepit Material Uji.....	50
Gambar 3. 9 Ampelas 800 (Kiri) dan Ampelas 2000 (Kanan).....	50
Gambar 3. 10 Alat Uji Difraktometer Sinar-X (XRD)	50
Gambar 3. 11 Alat Uji <i>Scanning Electron Microscope - Energy Disprasive X-Ray</i> (SEM-EDX).....	51
Gambar 3. 12 Jadwal Pengerjaan Tugas Akhir	53
Gambar 4. 1 Spesimen Uji Material Baja Karbon.....	54
Gambar 4. 2 Data Hasil Uji XRD Baja Karbon Tanpa Perlakuan	56
Gambar 4. 3 Difraktogram sinar-X baja karbon, <i>Quenching</i> Temperatur 875°C, Waktu Penahanan 1 Jam	57
Gambar 4. 4 Difraktogram Sinar-X Baja Karbon, <i>Tempering</i> Temperatur 325°C, Waktu Penahanan 0.5 Jam	58
Gambar 4. 5 Difraktogram Sinar-X Baja Karbon, <i>Tempering</i> Temperatur 325°C, Waktu Penahanan 1 Jam	59
Gambar 4. 6 Grafik Perbandingan Perubahan Ukuran Kristal.....	60
Gambar 4. 7 Grafik Perbandingan Kerapatan Dislokasi.....	61
Gambar 4. 8 Grafik Perbandingan Perubahan Regangan Kisi	62

DAFTAR TABEL

Tabel 4. 1 Matriks Perancangan Spesimen Pengujian.....	55
Tabel 4. 2 Data Hasil Uji XRD Baja Karbon Tanpa Perlakuan	56
Tabel 4. 3 Data Hasil Uji XRD Baja Karbon, <i>Quenching</i> Temperatur 875°C, Waktu Penahanan 1 Jam	57
Tabel 4. 4 Data Hasil Uji XRD Baja Karbon, <i>Tempering</i> Temperatur 325°C, Waktu Penahanan 0.5 Jam	58
Tabel 4. 5 Data Hasil Uji XRD Baja Karbon, <i>Tempering</i> Temperatur 325°C, Waktu Penahanan 1 Jam	59
Tabel 4. 6 Data Rata - Rata Nilai Hasil Uji XRD Pada Spesimen Uji Dengan Tanpa Perlakuan, <i>Quenching</i> 1 Jam, <i>Tempering</i> 0.5 Jam dan <i>Tempering</i> 1 Jam..	60
Tabel 4. 7 Hasil Micrograph SEM.....	64
Tabel 4. 8 Micrograph Komposisi Material	65
Tabel 4. 9 Hasil EDX Spectrum	68
Tabel 4. 10 Hasil Uji EDX	69

DAFTAR ISTILAH

1. HVN : satuan kekerasan dalam *Vickers*
2. BCC : *Body Centered Cubic*
3. FCC : *Face Centered Cubic*
4. HCP : *Hexagonal Close Packed*
5. BCT : *Body Centered Tetragonal*
6. λ : panjang gelombang lambda dari sinar – X
7. θ : sudut hamburan / sudut difraksi ($^{\circ}$)
8. n : orde difraksi
9. d_{hkl} : jarak antar bidang atom yang memiliki hubungan (\AA)
10. ρ : kerapatan dislokasi (garis/ mm^2)
11. ϵ : regangan kisi
12. β : nilai dari *full width at half maximum* / FWHM (radian)

Abstrak

Baja adalah logam paduan yang terdiri dari unsur besi (Fe) dan karbon (C). Kandungan karbon yang terdapat pada baja bisa mencapai hingga 2%, serta memiliki unsur lain seperti belerang (S), fosfor (P), silikon (Si) dan mangan (Mn) dengan jumlah kecil. Penulisan ini membahas pengaruh waktu *tempering* terhadap struktur kristal serta struktur mikro pada baja, serta memberikan informasi komposisi pada baja yang diuji. Alat uji yang akan digunakan untuk pengamatan struktur kristal adalah Difraktometer Sinar-X (XRD) dan alat uji yang akan digunakan untuk pengamatan struktur mikro serta komposisi material adalah *Scanning Electron Microscopy – Energy Dispersive X-ray* (SEM-EDX). Penelitian ini menunjukkan bahwa proses *quenching* dan *tempering* sangat berpengaruh pada struktur mikro serta struktur kristal. Proses *tempering* dalam waktu 1 jam mengakibatkan peningkatan ukuran kristal, dari 0,2698 (nm) menjadi 1,0948 (nm). Proses *tempering* dalam waktu 1 jam mengakibatkan penurunan kerapatan dislokasi, dari 16.7556 (garis/mm²) menjadi 0.9341 (garis/mm²). Proses *tempering* dalam waktu 1 jam juga mengakibatkan penurunan regangan mikro, dari 0.2932 (ϵ) menjadi 0.0752 (ϵ). Beberapa komposisi yang terdapat pada material uji, yaitu besi (Fe), oksigen (O), mangan (Mn), natrium (Na), kromium (Cr), kalsium (Ca), dan karbon (C). Berdasarkan pengujian struktur mikro setelah proses *tempering*, presentase atom besi (Fe) sebanyak 65,79% mengalami penurunan menjadi 42,96%. Kemudian setelah proses *tempering*, presentase atom mangan (Mn) sebanyak 0,51% juga mengalami penurunan menjadi 0,34%. Sebaliknya setelah proses *tempering*, presentase atom oksigen (O) sebanyak 33,31% mengalami peningkatan menjadi 54,12%. Kemudian setelah proses *tempering*, presentase atom natrium (Na) sebanyak 0.33% juga mengalami peningkatan menjadi 2,46%.

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

Abstract

Steel is an alloy metal composed of iron (Fe) and carbon (C) elements. The carbon content in steel can reach up to 2% and contains other elements such as sulfur (S), phosphorus (P), silicon (Si), and manganese (Mn) in small amounts. This writing discusses the effect of tempering time on the crystal structure and microstructure of steel, as well as provides information on the composition of the tested steel. The testing equipment used for observing the crystal structure is the X-ray Diffractometer (XRD), and the equipment used for observing the microstructure and material composition is the Scanning Electron Microscopy – Energy Dispersive X-ray (SEM-EDX). This research shows that the quenching and tempering processes significantly affect the microstructure and crystal structure. The tempering process for 1 hour results in an increase in crystal size, from 0.2698 (nm) to 1.0948 (nm). The tempering process for 1 hour also leads to a decrease in dislocation density, from 16.7556 (lines/mm²) to (0.9341 lines/mm²). The tempering process for 1 hour further causes a reduction in microstrain, from 0.2932 (ϵ) to 0.0752 (ϵ). Several compositions found in the tested material include iron (Fe), oxygen (O), manganese (Mn), sodium (Na), chromium (Cr), calcium (Ca), and carbon (C). Based on the microstructure testing after the tempering process, the percentage of iron (Fe) atoms decreased from 65.79% to 42.96%. After the tempering process, the percentage of manganese (Mn) atoms also decreased from 0.51% to 0.34%. Conversely, after the tempering process, the percentage of oxygen (O) atoms increased from 33.31% to 54.12%. Additionally, after the tempering process, the percentage of sodium (Na) atoms increased from 0.33% to 2.46%.

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