

**PENGARUH WAKTU *TEMPERING* TERHADAP
KEKERASAN, KEKUATAN TARIK, STRUKTUR KRISTAL,
DISLOKASI DAN REGANGAN MIKRO PADA BAJA ASSAB
DF3**

SKRIPSI

Oleh

GABRIEL GERALD PRAYOGO

2151057029



**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS KRISTEN INDONESIA
JAKARTA
2024**

**PENGARUH WAKTU *TEMPERING* TERHADAP
KEKERASAN, KEKUATAN TARIK, STRUKTUR KRISTAL,
DISLOKASI DAN REGANGAN MIKRO PADA BAJA ASSAB
DF3**

SKRIPSI

Diajukan Untuk Memenuhi Persyaratan Akademik Guna Memperoleh Gelar
Sarjana Teknik (S.T) Pada Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik
Universitas Kristen Indonesia

Oleh

GABRIEL GERALD PRAYOGO

2151057029



**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS KRISTEN INDONESIA
JAKARTA
2024**



PERNYATAAN KEASLIAN KARYA TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Gabriel Gerald Prayogo

Nim : 2151057029

Program Studi : Teknik Mesin

Fakultas : Teknik

Dengan ini menyatakan bahwa karya tulis tugas akhir yang berjudul **PENGARUH WAKTU TEMPERING TERHADAP KEKERASAN, KEKUATAN TARIK, STRUKTUR KRISTAL, DISLOKASI DAN REGANGAN MIKRO PADA BAJA ASSAB DF3** 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, 19 Februari 2024


63ANX294457310
(Gabriel Gerald Prayogo)



**UNIVERSITAS KRISTEN INDONESIA
FAKULTAS TEKNIK**

**PERSETUJUAN DOSEN PEMBIMBING TUGAS AKHIR
PENGARUH WAKTU TEMPERING TERHADAP KEKERASAN,
KEKUATAN TARIK, STRUKTUR KRISTAL, DISLOKASI DAN
REGANGAN MIKRO PADA BAJA ASSAB DF3**

Oleh:

Nama : GABRIEL GERALD PRAYOGO

NIM : 2151057029

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, 19 Februari 2024
Menyetujui,

Pembimbing 1

(Ir. Budiarto, M. Sc)
NIDN: 0302115810

Pembimbing 2

(Andreas Reky K, S.T., M.T.)
NIDN: 0419077802



(Ir. Budiarto, M. Sc)



(Dicky Antonius, M.Sc)



UNIVERSITAS KRISTEN INDONESIA
FAKULTAS TEKNIK

PERSETUJUAN TIM PENGUJI TUGAS AKHIR

Pada 1 Februari 2024 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 :

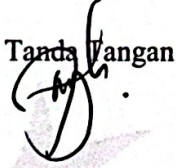
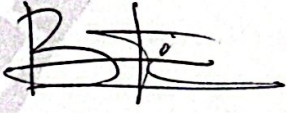
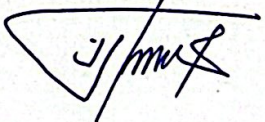
Nama : Gabriel Gerald Prayogo

Nim : 2151057029

Program Studi : Teknik Mesin

Fakultas : Teknik

Termasuk ujian Tugas Akhir yang berjudul *PENGARUH WAKTU TEMPERING TERHADAP KEKERASAN, KEKUATAN TARIK, STRUKTUR KRISTAL, DISLOKASI DAN REGANGAN MIKRO PADA BAJA ASSAB DF3* 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., S.T., M.T,	Sebagai Anggota	

Jakarta, 19 Februari 2024



Pernyataan dan Persetujuan Publikasi Tugas Akhir

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Gabriel Gerald PRayogo
Nim : 2151057029
Program Studi : Teknik Mesin
Fakultas : Teknik
Jenis Tugas Akhir : Sarjana Strarta Satu
Judul : PENGARUH WAKTU TEMPERING TERHADAP KEKERASAN, KEKUATAN TARIK, STRUKTUR KRISTAL, DISLOKASI DAN REGANGAN MIKRO PADA BAJA ASSAB DF3

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 Perundang-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, 19 Februari 2024



(Gabriel Gerald Prayogo)

KATA PENGANTAR

Dengan rasa syukur, penulis ingin menyampaikan terima kasih kepada Tuhan Yang Maha Esa atas anugrah dan kasih-Nya maka penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul "Pengaruh Waktu Tempering Terhadap Kekerasan, Kekuatan Tarik, Struktur Kristal, Dislokasi dan Regangan Mikro Pada Baja ASSAB DF3" dengan baik.

Penelitian ini merupakan bagian dari Tugas Akhir penulis, serta merupakan syarat yang harus dipenuhi untuk mengikuti Sidang Ujian Sarjana dan meraih gelar Sarjana Teknik (S.T) dari Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Kristen Indonesia.

Penulisan tugas akhir ini tidak dapat terselesaikan tanpa dukungan dan bimbingan dari berbagai pihak. Oleh karena itu pada kesempatan ini, penulis ingin mengucapkan teima kasih kepada:

1. Ir. Budiarto, M.Sc., selaku Ketua Program Studi Teknik Mesin dan Dosen Pembimbing 1 yang telah menyetujui penulisan tugas akhir ini serta memberikan bimbingan dengan sabar.
2. Andreas Reky Kurniawidi, S.T., M.T., Dosen Pembimbing 2 yang telah secara tulus dan sabar memberikan bimbingan.
3. Orang Tua yang sudah sabar memberikan dukungan secara moril, materil maupun spiritual agar penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan baik.
4. Bapak dan Ibu dosen pengampu program studi Teknik Mesin.
5. Tim Manufaktur PT. DENAPELLA LESTARI, tim laboratorium UKI dna UI yang telah membantu proses pengujian sample .
6. Serta semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu, yang telah banyak membantu penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.

Sekiranya penelitian ini dapat berguna dan bermanfaat serta memberikan ilmu yang baru dan lebih bagi pembaca. Akhir kata dengan segala rasa syukur penulis, penulis mengucapkan terimakasih kepada semua pihak. Tuhan Memberkati.

Jakarta, 19 Februari 2024

DAFTAR ISI

PERNYATAAN KEASLIAN KARYA TUGAS AKHIR.....	ii
PERSETUJUAN DOSEN PEMBIMBING TUGAS AKHIR	iii
PERSETUJUAN TIM PENGUJI TUGAS AKHIR.....	iv
Pernyataan dan Persetujuan Publikasi Tugas Akhir	v
KATA PENGANTAR.....	vi
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xii
ABSTRAK	xiv
ABSTRACT	xv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan Penelitian.....	3
1.5 Ruang Lingkup	3
1.6 Sistematika Penulisan.....	3
BAB II LANDASAN TEORI	5
2.1 Baja.....	5
2.1.1 Baja Karbon Rendah	6
2.1.2 Baja Karbon Sedang.....	7
2.1.3 Baja Karbon Tinggi.....	7
2.1.4 Baja Paduan.....	7

2.2	Sifat Mekanik Baja.....	9
2.3	Struktur Mikro Baja.....	10
2.4	Struktur Kristal Baja.....	13
2.5	Spesifikasi Material Baja ASSAB DF3.....	15
2.6	Dies.....	17
2.6.1	Jenis-Jenis <i>Dies</i>	17
2.6.1	Pengoperasian <i>Dies</i>	18
2.7	Perlakuan Panas (<i>Heat Treatment</i>).....	19
2.7.1	<i>Normalizing</i>	20
2.7.2	<i>Quenching</i>	22
2.7.3	<i>Tempering</i>	26
2.7.4	<i>Annealing</i>	27
2.8	<i>Holding time</i>	28
2.9	Media Pendingin.....	28
2.10	Diagram Fasa Fe-Fe ₃ C	30
2.11	Pengujian Baja	32
2.12	Pengujian Kekerasan.....	33
2.13	XRD (X-Ray Diffraction).....	35
BAB III METODOLOGI PENELITIAN		39
3.1	Diagram Alir Penelitian.....	39
3.2	Tempat dan Waktu Penelitian	40
3.2.1	Tempat Penelitian.....	40
3.2.2	Waktu Penelitian	41
3.3	Bahan Penelitian.....	41
3.3.1	Bahan Utama.....	41

3.3.2	Bahan Pendukung	41
3.4	Alat	42
3.4.1	Alat Proses Penelitian	42
3.4.2	Alat Pengujian.....	42
3.5	Variabel Penelitian	42
3.5.1	Variabel Terikat	42
3.5.2	Variabel Tetap.....	42
3.5.3	Variabel berubah.....	42
3.6	Cara Pengolahan Data	43
3.7	Prosedur Penelitian.....	43
3.7.1	Pembuatan Sampel Uji.....	43
3.7.2	Proses perlakuan panas	43
3.7.3	Pengujian dengan Difraktometer Sinar-X.....	45
3.7.4	Pengujian dengan Metode Brinell.....	46
3.8	Metode Penelitian.....	47
3.9	Rancangan Penelitian	48
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		50
4.1	Hasil Pembuatan Spesimen Uji Material ASSAB DF3.....	50
4.2	Pengujian XRD.....	51
4.2.1	Data Hasil Pengujian XRD	51
4.2.2	Analisa Data Hasil Pengujian XRD	54
4.3	Pengujian Kekerasan Baja ASSAB DF3.....	58
4.3.1	Data Hasil Pengujian Kekerasan Baja ASSAB DF3.....	58
4.3.2	Analisa Hasil Uji Kekerasan Secara Keseluruhan Pada Baja ASSAB DF3.....	59

4.3.3	Pembahasan Hasil Uji Kekerasan Pada Baja ASSAB DF3	59
4.4	Pengujian Kekuatan Tarik Baja ASSAB DF3.....	60
4.4.1	Data Hasil Nilai Kekuatan Tarik Baja ASSAB DF3	61
4.4.2	Analisa Hasil Nilai Kekuatan Tarik Secara Keseluruhan Pada Baja ASSAB DF3.....	62
4.4.3	Pembahasan Hasil Nilai Kekuatan Tarik Pada Baja ASSAB DF3	62
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		64
5.1	Kesimpulan.....	64
5.2	Saran	64
DAFTAR PUSTAKA		66



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Komposisi Kimia Baja ASSAB DF3	25
Tabel 2.2 Sifat Kekerasan Baja ASSAB DF3	26
Tabel 2.3 Aplikasi penggunaan baja ASSAB DF3	16
Tabel 3.1 Waktu Pengerjaan TA	40
Tabel 3.2 Perancangan Penelitian	47
Tabel 4.1 Spesimen Uji Material ASSAB DF3.....	48
Tabel 4.2 Rata-Rata Hasil Nilai Pengujian XRD Pada 4 Spesimen	53
Tabel 4.3 Data Hasil Pengujian Kekerasan Skala <i>Brinell</i>	56
Tabel 4.4 Data Hasil Konversi Kekuatan Tarik Skala Brinell	59



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Tampak Struktur Baja Zat Arang	6
Gambar 2.2 Struktur Mikro Ferit	11
Gambar 2.3 Struktur Mikro Perlit	11
Gambar 2.4 Struktur Mikro Bainit	12
Gambar 2.5 Struktur Mikro Martensit	12
Gambar 2.6 Struktur Mikro Sementit	13
Gambar 2.7 Struktur Kristal BCC.....	13
Gambar 2.8 Struktur Kristal FCC	14
Gambar 2.9 Struktur Kristal HCP	14
Gambar 2.10 Struktur Kristal BCT	15
Gambar 2.11 <i>Dies Plate</i>	17
Gambar 2.12 <i>Dies Casting</i>	18
Gambar 2.13 Diagram Temperatur <i>Normalizing</i>	20
Gambar 2.14 Diagram Fasa Fe-C dan Fe ₃	22
Gambar 2.15 Diagram <i>Isothermal Trasformation</i>	23
Gambar 2.16 Diagram <i>Cooling Transformation</i>	24
Gambar 2.17 Diagram Fasa Fe-C dan Fe ₃	30
Gambar 2.18 Perbandingan Dimensi Penekanan Pada Pengujian Kekerasan	34
Gambar 2.19 Lintasan Berkas Sinar X Mengenai Kristal	34
Gambar 2.20 <i>X-Ray Diffraction</i>	36
Gambar 3.1 Diagram Penelirian	39
Gambar 3.2 Proses <i>Hardening</i>	42
Gambar 3.3 Media <i>Quenching</i> specimen	43
Gambar 3.4 Hasil <i>Sample Quenching</i>	43
Gambar 3.5 Hasil <i>Sample Tempering</i>	43
Gambar 3.6 Alat XRD Untuk Uji Struktur Kristal di Laboratorium UI	44
Gambar 3.7 Skema Pengujian Kekerasan Brinell	45
Gambar 4.1 Spesimen Uji Material ASSAB DF3	48

Gambar 4.2 Difraktogram Sinar X	50
Gambar 4.3 Grafik Hubungan Ukuran Kristal Terhadap Perlakuan Panas	53
Gambar 4.4 Grafik Hubungan Kerapatan Dislokasi Terhadap Perlakuan Panas ..	54
Gambar 4.5 Grafik Hubungan Regangan Mikro Terhadap Perlakuan Panas	54
Gambar 4.6 Grafik Perlakuan Panas Terhadap Kekerasan	57
Gambar 4.7 Grafik Distribusi Kekuatan Tarik dan Kekerasan Brinell	59



ABSTRAK

Baja ASSAB DF3 merupakan salah satu jenis baja perkakas dingin (*cold work tool steel*) yang banyak digunakan dalam pembuatan *dies*, *punch*, dan *insert cutting dies* pada industri manufaktur karena memiliki kombinasi antara kekerasan, keuletan, dan ketahanan aus yang tinggi setelah melalui proses *hardening* dan *tempering*. Kinerja material ini sangat dipengaruhi oleh parameter perlakuan panas, khususnya waktu *tempering*, yang berperan penting dalam menentukan sifat mekanik dan mikrostrukturnya. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi waktu *tempering* terhadap kekerasan, kekuatan tarik, struktur kristal, kerapatan dislokasi, dan regangan mikro pada baja ASSAB DF3. Metode penelitian yang digunakan adalah metode kuantitatif dengan pendekatan deskriptif dan studi eksperimental. Pengujian meliputi observasi struktur kristal menggunakan difraktometer sinar-X, uji kekerasan Brinell, serta uji tarik. Sampel yang diuji terdiri dari empat spesimen, yaitu satu sampel asli, satu sampel yang mengalami proses *quenching* pada suhu 850°C dengan pendinginan oli, serta dua sampel yang mengalami *tempering* pada suhu 400°C dengan waktu penahanan selama 1 jam dan 3 jam. Hasil pengujian menunjukkan bahwa kekerasan meningkat signifikan setelah proses *quenching* dari 167 HB menjadi 643 HB, kemudian menurun menjadi 613 HB setelah *tempering* selama 1 jam dan 580 HB setelah *tempering* selama 3 jam. Ukuran kristal meningkat dari 0,74455 nm menjadi 0,98983 nm, kerapatan dislokasi bertambah dari 3,82686 garis/mm² menjadi 4,30837 garis/mm², dan regangan mikro meningkat dari 0,16547 ϵ menjadi 0,18626 ϵ setelah *tempering* selama 3 jam. Berdasarkan hasil tersebut, waktu *tempering* berpengaruh terhadap perubahan struktur mikro dan sifat mekanik baja ASSAB DF3, namun penurunan kekerasan yang terjadi relatif kecil sehingga material ini tetap memiliki ketahanan aus yang baik untuk aplikasi *dies* dan perkakas industri.

Kata Kunci: Baja ASSAB DF3 ; *cold work tool steel* ; *quenching* ; *tempering* ; kekerasan ; kuat tarik ; Difraktometer sinar-X

ABSTRACT

ASSAB DF3 steel is a type of cold work tool steel widely used in the manufacturing industry for dies, punches, and insert cutting dies due to its excellent combination of hardness, toughness, and wear resistance after hardening and tempering processes. The performance of this material is strongly influenced by heat treatment parameters, particularly tempering time, which plays a critical role in determining its mechanical properties and microstructural behavior. This study aims to analyze the effect of tempering time variation on hardness, tensile strength, crystal structure, dislocation density, and microstrain of ASSAB DF3 steel. The research employed a quantitative method with a descriptive and experimental approach. The tests included crystal structure observation using an X-ray diffractometer, Brinell hardness testing, and tensile testing. Four specimens were examined: one untreated sample, one sample quenched at 850°C using oil as a cooling medium, and two samples tempered at 400°C with holding times of 1 hour and 3 hours. The results showed a significant increase in hardness after quenching from 167 HB to 643 HB, followed by a moderate decrease to 613 HB after 1 hour of tempering and 580 HB after 3 hours of tempering. The crystal size increased from 0.74455 nm to 0.98983 nm, dislocation density rose from 3.82686 lines/mm² to 4.30837 lines/mm², and microstrain increased from 0.16547 ϵ to 0.18626 ϵ after 3 hours of tempering. These findings indicate that tempering time affects the microstructural and mechanical properties of ASSAB DF3 steel; however, the decrease in hardness remains relatively minor, ensuring that the material maintains good wear resistance for die and industrial tooling applications.

Keywords: ASSAB DF3 steel; quenching; tempering; hardness; tensile strength; X-ray Diffraction.