

ANALISA PENGARUH VARIASI MEDIA *QUENCHING*
TERHADAP UJI KEKERASAN, STRUKTUR KRISTAL DAN UJI
TARIK PADA MATERIAL BAJA S45C

SKRIPSI

Oleh

FEDELIS RYTMA SUTOMO

2251057033



PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS KRISTEN INDONESIA
JAKARTA

2024

**ANALISA PENGARUH VARIASI MEDIA QUENCHING
TERHADAP UJI KEKERASAN, STRUKTUR KRISTAL DAN UJI
TARIK PADA MATERIAL BAJA S45C**

SKRIPSI

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

Oleh

FEDELIS RYTMA SUTOMO

2251057033



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

2024



PERNYATAAN KEASLIAN KARYA TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Fedelis Rytma Sutomo

NIM : 2251057033

Program Studi : Teknik Mesin

Fakultas : Teknik

Dengan ini menyatakan bahwa karya tulis tugas akhir yang berjudul “ANALISA PENGARUH VARIASI MEDIA *QUENCHING* TERHADAP UJI KEKERASAN, STRUKTUR KRISTAL DAN UJI TARIK PADA MATERIAL BAJA S45C” adalah :

1. Dibuat dan diselesaikan sendiri 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, 08 Juli 2024



(Fedelis Rytma Sutomo)



UNIVERSITAS KRISTEN INDONESIA
FAKULTAS TEKNIK

PERSETUJUAN DOSEN PEMBIMBING TUGAS AKHIR

**ANALISA PENGARUH VARIASI MEDIA QUENCHING TERHADAP UJI
KEKERASAN, STRUKTUR KRISTAL DAN UJI TARIK PADA MATERIAL BAJA
S45C**

Oleh:

Nama : Fedelis Rytma Sutomo

NIM : 2251057033

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, 08 Juni 2024

Menyetujui:

Pembimbing I

Pembimbing II

Ir. Budiarto, M.Sc.
NIDN. 0302115801

Ir. Kimar Turnip, M.Sc.
NIDN.031045401

Ketua Program Studi

Ir. Budiarto, M.Sc.

Dekan

Dicky Antonius, S.T., M.S.



**UNIVERSITAS KRISTEN INDONESIA
FAKULTAS TEKNIK**

PERSETUJUAN TIM PENGUJI

Pada tanggal 08 Juli 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 : Fedelis Rytma Sutomo

NIM : 2251057033

Program Studi : Teknik Mesin

Fakultas : Teknik

Termasuk ujian Tugas Akhir yang berjudul “Analisa Pengaruh Variasi Media Quenching Terhadap Uji Kekerasan, Struktur Kristal Dan Uji Tarik Pada Material Baja S45C” oleh tim penguji yang terdiri dari :

Nama Penguji	Jabatan dalam Tim Penguji	Tanda tangan
1. Dicky Antonius, S.T., M.Sc	Sebagai Ketua	
2. Rahmad Samosir, Ir., MT.	Sebagai Anggota	
3. Melya Dyanasari Sebayang, S.Si., MT.	Sebagai Anggota	

Jakarta, 8 Juli 2024



**UNIVERSITAS KRISTEN INDONESIA
FAKULTAS TEKNIK**

Pernyataan dan Persetujuan Publikasi Tugas Akhir

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Fedelis Rytma Sutomo

NIM : 2251057033

Program Studi : Teknik Mesin

Fakultas : Teknik

Jenis Tugas Akhir : Skripsi

Judul : ANALISA PENGARUH VARIASI MEDIA QUENCHING
TERHADAP UJI KEKERASAN, STRUKTUR KRISTAL DAN
UJI TARIK PADA MATERIAL BAJA S45C.

Menyatakan bahwa:

1. Tugas akhir tersebut adalah benar karya saya dengan arahan dari dosen pembimbing dan bukan merupakan duplikasi karya Tulisa yang sudah dipublikasi 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 mengutip dari karya orang lain maka akan dicantumkan sebagai referensi sesuai dengan ketentuan yang berlaku;
3. Saya memberikan Hak Non eksklusif 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 kemudia 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

Jakarta, 08 Juli 2024



(Fedelis Rytma Sutomo)

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Tuhan Yang Maha Esa, karena atas berkat dan rahmat-Nya sehingga laporan tugas akhir ini dapat diselesaikan dengan baik. Laporan tugas akhir ini disusun untuk memenuhi sebagian persyaratan yang harus dipenuhi guna menempuh Sidang Ujian Sarjana serta untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik (S.T) pada Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Kristen Indonesia.

Pokok bahasan dalam laporan tugas akhir ini adalah mengenai “Analisa Pengaruh Variasi Media Quenching Terhadap Uji Kekerasan, Struktur Kristal Dan Uji Tarik Pada Material Baja S45C” yang telah selesai dengan baik dan lancar. Penulis menyadari bahwa dalam penulisan laporan tugas akhir ini tidak lepas dari bimbingan dan tentunya bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu penulis ingin menyampaikan ucapan terimakasih banyak kepada:

1. Dicky Antonius, S.T.,M.Sc, Dekan Fakultas Teknik Universitas Kristen Indonesia, yang telah menyetujui penulisan tugas akhir ini.
2. Ir. Budiarto, M.Sc., Ketua Program Studi Teknik Mesin, yang telah menyetujui penulisan tugas akhir ini
3. Ir. Budiarto, M.Sc., Dosen Pembimbing 1 yang telah secara tulus dan sabar memberikan bimbingan.
4. Ir. Kimar Turnip, M.Sc., Dosen Pembimbing 2 yang telah secara tulus dan sabar memberikan bimbingan.
5. Kedua orang tua yang memberi dukungan material dan spiritual.
6. Semua pihak yang berjasa namun tidak dapat disebutkan satu persatu di sini.

Akhir kata semoga hasil dari tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi rekan-rekan mahasiswa pada umumnya dan penulis pada khususnya di Universitas Kristen Indonesia. Penulis menyadari bahwa laporan tugas akhir ini masih jauh dari sempurna dan mengharapkan kritik dan saran untuk penyempurnaan di kemudian hari. Dengan segala rasa syukur penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak.

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 GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL.....	xiii
DAFTAR ISTILAH	xiv
ABSTRAK	xv
<i>ABSTRACT</i>	xvi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan masalah.....	4
1.3 Tujuan Penelitian.....	4
1.4 Batasan Masalah.....	4
1.5 Manfaat Penelitian.....	5
1.6 Sitematika Penulisan	5
1.6.1 Bab I Pendahuluan	5
1.6.2 Bab II Landasan Teori.....	5
1.6.3 Bab III Metode Penelitian	5
1.6.4 Bab IV Pembahasan	6
1.6.5 Bab V Kesimpulan dan Saran	6
1.7 Penelitian Sebelumnya	6
BAB II LANDASAN TEORI	8
2.1 Baja.....	8
2.2 Sifat-sifat Mekanik Bahan Teknik.....	10
2.3 Struktur Mikro dan Kaitannya dengan Sifat Mekanik	12

2.3.1 Austenit	12
2.3.2 Ferit	13
2.3.3 Perlit.....	13
2.3.4 Bainit.....	13
2.3.5 Martensit	14
2.3.6 Sementit	15
2.3.7 Karbida.....	15
2.4 Diagram Fasa Besi-Karbon	16
2.5 Diagram TTT (<i>Time - Suhu - Transformation</i>)	20
2.6 Diagram CCT (<i>Cooling - Continues - Transformation</i>).....	22
2.7 Perlakuan Panas.....	23
2.8 Struktur Kristal	30
2.8.1. Struktur <i>Simple Cubic</i> (SC) atau Kubik Sederhana	30
2.8.2. Struktur <i>Body Centered-Cube</i> (BCC)	31
2.8.3. Struktur <i>Face Centered-Cubic</i> (FCC).....	32
2.8.4. Struktur Kristal Heksagonal <i>Closed Packed</i> (HCP)	33
2.9 Cacat Kristal	34
2.9.1. Cacat Titik	35
2.9.2. Cacat Ulir dan Cacat Garis	35
2.9.3. Cacat Permukaan	36
2.10 Transformasi Fasa	37
2.11 Media Pendingin.....	39
2.11.1. Air	39
2.11.2. Minyak.....	40
2.11.3. Udara	40
2.11.4. Garam	40
2.12 Deformasi	41
2.12.1. Deformasi Elastik	42
2.12.2. Deformasi Plastik	43
2.13 Rekristalisasi	43
2.14 Karakteristik S45C	44

2.15 Uji Kekerasan (Hardness Test).....	45
2.17 Uji Kuat Tarik (Tensile Test)	48
2.17.1 Konversi Kekerasan.....	48
2.18 XRD (<i>X-Ray Diffraction</i>)	51
BAB III METODE PENELITIAN.....	56
3.1 Diagram Alir Penelitian.....	56
3.2 Bahan Penelitian.....	58
3.2.1 Bahan Utama.....	58
3.2.2 Bahan Pendukung	59
3.2.3 Alat Proses Penelitian	60
3.2.4 Alat Pengujian.....	61
3.3 Tempat dan Waktu Penelitian	61
3.3.1 Tempat penelitian.....	61
3.3.2 Waktu Penelitian.....	62
3.4 Prosedur Penelitian.....	62
3.4.1 Pembuatan Sample Uji.....	62
3.4.2 Proses perlakuan panas	62
3.4.3 Pengujian dengan Difraktometer Sinar-X (XRD).....	63
3.4.4 Pengujian Uji Kekuatan Menggunakan Metode Brinell	63
3.5 Variabel Penelitian	64
3.5.1 Variabel Terikat	64
3.5.2 Variable Tetap.....	64
3.5.3 Variable Berubah	64
3.6 Metode Penelitian.....	65
3.7 Rancangan Penelitian	66
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	67
4.1. Hasil Pembuatan Spesimen Uji Material S45C	67
4.2. Pengujian XRD.....	69
4.2.1. Data Hasil Pengujian XRD	70

4.2.2. Analisa Hasil Pengujian XRD.....	72
4.2.3. Pembahasan Hasil Pengujian XRD Pada Baja S45C.....	74
4.3. Pengujian Kekerasan Metode Brinell.....	76
4.3.1. Data hasil Pengujian Kekerasan Spesimen S45C.....	76
4.3.2. Hasil Pengujian Kekerasan Metode Brinell	77
4.3.3. Pembahasan Hasil Uji Kekerasan Pada Baja S45C.....	77
4.1. Pengujian Uji Tarik Metode Brinell	78
4.4.1. Data Hasil Nilai Kekuatan Tarik Baja S45C	78
4.4.1. Hasil Pengujian Uji Tarik Konversi Brinell.....	79
4.4.2. Pembahasan Hasil Pengujian Uji Tarik Baja S45C	79
4.5 Hubungan pengujian XRD dengan Pengujian kekerasan S45C	80
 BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	 84
5.1. Kesimpulan.....	84
5.2. Saran.....	85
 DAFTAR PUSTAKA	 86

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Contoh Bentuk Struktur Mikro.....	16
Gambar 2.2 Diagram Fasa.....	17
Gambar 2.3 Perubahan Struktur Pada Diagram Fasa.....	18
Gambar 2.4 Fasa Baja Eutectoid.....	19
Gambar 2.5 Diagram Time-Temperature-Transformation.....	21
Gambar 2.6 Diagram TTT-CCT.....	22
Gambar 2.7 Kurva <i>Heat treatment</i>	26
Gambar 2.8 Skema Perbandingan Antara Dimensi dan Waktu Pemanasan Material.....	28
Gambar 2.9 Waktu Pendinginan dan Suhu.....	29
Gambar 2.10 Struktur Body Centered Cubic (BCC).....	31
Gambar 2.11 Struktur Kubik Pemusatan Sisi (FCC).....	32
Gambar 2.12 Sel Satuan Heksagonal.....	33
Gambar 2.13 Struktur Kristal Body Centered Tetragonal (BCT).....	34
Gambar 2.14 Struktur yang Cacat.....	35
Gambar 2.15 Proses Terjadinya Dislokasi.....	36
Gambar 2.16 Kurva Pendinginan Logam Murni.....	38
Gambar 2.17 Kurva Pendinginan Besi Murni.....	39
Gambar 2.18 Grafik Perubahan Deformasi.....	41
Gambar 2.19 Gambar Deformasi Elastis.....	42
Gambar 2.20 Reinkristalisasi.....	43
Gambar 2.21 Uji Kekerasan Metode Brinell.....	46
Gambar 2.22 Uji Kekerasan Metode Vickers.....	47
Gambar 2.23 Uji Kekerasan Metode Rockwell.....	48
Gambar 2.24 Perbandingan dari Beberapa Skala Kekerasan (diadaptasi dari ASM Internasional).....	49
Gambar 2.25 Hubungan Antara Kekerasan dan Kekuatan Tarik untuk Baja, Kuningan dan Besi Cor.....	50
Gambar 2.26 Difraksi Bragg.....	53

Gambar 2.27 Lintas Berkas Sinar X yang Mengenai Kristal.....	54
Gambar 2.28 X-Ray Diffraction (XRD)	55
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian.....	57
Gambar 3.2 Ukuran Spesimen	58
Gambar 3.3 Garam	59
Gambar 3.4 Air.....	59
Gambar 3.5 Air Es.....	59
Gambar 3.6 Air Radiator	59
Gambar 3.7 Mesin Pemotong.....	60
Gambar 3.8 Amplas.....	60
Gambar 3.9 Media <i>Quenching</i>	60
Gambar 3.10 Alat Difraktormeter Uji XRD.....	61
Gambar 3.11 Alat Uji Kekerasan	61
Gambar 3.12 Skema Pengujian Kekerasan Brinell	64
Gambar 4.1 Spesimen Uji Material S45C.....	67
Gambar 4.2 Suhu Awal Air Es.....	68
Gambar 4.3 Suhu Setelah <i>Hardening</i> Air Es	68
Gambar 4.4 Suhu Awal Air Radiator	68
Gambar 4.5 Suhu Setelah <i>Hardening</i> Air Radiator.....	68
Gambar 4.6 Suhu Awal Air Garam.....	68
Gambar 4.7 Suhu Setelah <i>Hardening</i> Air Garam	68
Gambar 4.8 Suhu <i>Hardening</i>	69
Gambar 4.9 Suhu <i>Hardening</i>	69
Gambar 4.10 Alat Uji Difraktormeter (XRD).....	69
Gambar 4.11 Data Hasil Uji XRD Spesimen S45C	70
Gambar 4.12 Grafik Perbandingan Perubahan Ukuran Kristal.....	73
Gambar 4.13 Grafik Perbandingan Perubahan Regangan Kisi	74
Gambar 4.14 Grafik Perbandingan Perubahan Kerapatan Dislokasi.....	74
Gambar 4.15 Grafik Uji Kekerasan Metode Brinell	77
Gambar 4.16 Grafik Hasil Uji Tarik Konversi Brinell.....	79

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1	Rancangan Penelitian.....	66
Tabel 4. 1	Matirks Perancangan Spesimen Pengujian	67
Tabel 4. 2	Tabel Kondisi Suhu Media <i>Quenching</i>	68
Tabel 4. 3	Data Hasil Uji XRD Spesimen Baja S45C Tanpa Perlakuan	71
Tabel 4. 4	Tabel Data Hasil Uji XRD Spesimen Baja S45C <i>Quenching</i> Air Radiator.....	71
Tabel 4. 5	Tabel Data Hasil Uji XRD Spesimen Baja S45C <i>Quenching</i> Air Es	72
Tabel 4. 6	Tabel Hasil Pengujian pada Spesimen Baja S45C <i>Quenching</i> Air Garam <i>Tempering</i> 400°C dengan Waktu Penahanan 1 Jam	72
Tabel 4. 7	Data Rata-Rata Nilai Hasil Uji XRD Pada Spesimen Uji Dengan Tanpa Perlakuan, <i>Quenching</i> Air ES, <i>Quenching</i> Air Radiator, dan <i>Tempering</i> 1 jam suhu 400°C	73
Tabel 4. 8	Tabel Hasil Uji Kekerasan Metode Brinell.....	76
Tabel 4. 9	Tabel Hasil Uji Tarik Konversi Brinell	79
Tabel 4. 10	Tabel Hubungan pengujian XRD dengan Pengujian kekerasan Baja S45C.....	80
Tabel 4. 11	Tabel Penolong Untuk Menghitung Korelasi Variasi Suhu <i>Hardening</i> Pada Proses Quench-Temper Terhadap Kekerasan Tanpa Perlakuan.....	82
Tabel 4. 12	Tabel Pedoman untuk Memberikan Interpretasi Terhadap Koefisien Korelasi	82

DAFTAR ISTILAH

- XRD : Teknik analisis yang digunakan untuk mengidentifikasi struktur kristal
- BCC : *Body Centered Cubic*
- FCC : *Face Centered Cubic*
- BCT : *Body Centered Tetragonal*
- HB : Nilai Kekerasan Brinnel
- D : Diameter.kristalit (nm)
- ε : Regangan.Kisi
- ρ : Kerapatan.Dislokasi (garis/mm²)
- K : Faktor bentuk dari kristal
- β : Nilai dari.Full Width at Half Maximum (FWHM) (rad)
- λ : Panjang gelombang dari sinar-X
- θ : Sudut difraksi (derajat)

ABSTRAK

Baja S45C tergolong baja karbon menengah dengan karbon 0,3-0,5%. Perlakuan panas penting untuk meningkatkan kekuatan dan kekerasannya. Baja ini umum digunakan dalam berbagai komponen seperti rel, roda gigi, kopling, katrol, poros, dan as. Poros biasanya diaplikasikan dengan motor 3 phasa, poros biasanya dipanaskan untuk mencegah keausan dan selip. Penelitian ini bertujuan untuk memahami pengaruh variasi media pendinginan pada kekerasan, struktur kristal (ukuran kristal, kerapatan dislokasi dan regangan kisi), dan sifat tarik baja S45C. Perlakuan panas hardening dengan suhu 800⁰C, Quenching media air es, air radiator, dan air garam, serta tempering pada suhu 400⁰C. Pada penelitian ini menggunakan metode penelitian kuantitatif dengan mengumpulkan data terstruktur melalui pengujian dan studi eksperimental. Pengujian meliputi observasi struktur kristal dengan Difraktometer Sinar-X (XRD), pengujian kekerasan dengan metode Brinell, dan pengujian tarik dengan konversi metode Brinell. Hasil menunjukkan bahwa variasi media pendinginan mempengaruhi struktur kristal, sifat tarik, dan kekerasan material. Ukuran kristal meningkat dengan media pendingin air es dari 3.812 nm menjadi 8.147 nm. Terjadi penurunan kerapatan dislokasi pada media pendingin air es dari 0.080 garis/mm² menjadi 0.22 garis/mm². Begitu pula dengan regangan kisi pada media pendingin air es dari 0.176 menjadi 0.165. Kekerasan material meningkat setelah pendinginan dengan air es dari 213.78 HB menjadi 417.14 HB, dan sifat tarik meningkat dari 737.5 MPa menjadi 1439.1 MPa. Setelah proses tempering nilai kekerasan menurun sangat signifikan.

Kata Kunci : baja S45C, Struktur Kristal, Kekerasan, kuat tarik,

ABSTRACT

S45C steel belongs to the medium carbon steel category with a carbon content of 0.3-0.5%. Heat treatment is essential to enhance its strength and hardness. This type of steel is commonly used in various components such as rails, gears, couplings, pulleys, shafts, and axles. Shafts are typically applied with 3-phase motors, and the shafts are usually heated to prevent wear and slippage. This research aims to understand the influence of different cooling media on the hardness, crystal structure (crystal size, dislocation density, and lattice strain), and tensile properties of S45C steel. The heat treatment involves hardening at a temperature of 800°C, Quenching using ice water, radiator water, and salt water, followed by tempering at 400°C. This study employs a quantitative research method by collecting structured data through testing and experimental studies. The tests include crystal structure observation using an X-Ray Diffractometer (XRD), hardness testing using the Brinell method, and tensile testing by converting Brinell method results. The results indicate that the variation in cooling media affects the crystal structure, tensile properties, and hardness of the material. The crystal size increases with ice water cooling from 3.812 nm to 8.147 nm. There is a decrease in dislocation density with ice water cooling from 0.080 lines/mm² to 0.22 lines/mm². Similarly, lattice strain decreases with ice water cooling from 0.176 to 0.165. Material hardness increases after cooling with ice water from 213.78 HB to 417.14 HB, and tensile strength increases from 737.5 MPa to 1439.1 MPa. After the tempering process, the hardness value decreases significantly.

Keywords: *S45C steel, Crystal Structure, Hardness, Tensile Strength*