

**PENGARUH TEMPERATUR TEMPER TERHADAP
STRUKTUR KRISTAL, KEKERASAN, DAN SIFAT
MEKANIK PADA BAJA S45C**

SKRIPSI

Oleh

DIONISIUS CAHYA GEOVANNI

2251057004



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

**PENGARUH TEMPERATUR TEMPER TERHADAP
STRUKTUR KRISTAL, KEKERASAN, DAN SIFAT
MEKANIK PADA 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

DIONISIUS CAHYA GEOVANNI

2251057004



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



PERNYATAAN KEASLIAN KARYA TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Dionisius Cahya Geovanni

NIM : 2251057004

Program Studi : Teknik Mesin

Fakultas : Teknik

Dengan ini menyatakan bahwa karya tulis tugas akhir yang berjudul "PENGARUH TEMPERATUR TEMPER TERHADAP STRUKTUR KRISTAL, KEKERASAN, DAN SIFAT MEKANIK PADA 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 tugas akhir ini dianggap batal.

Jakarta, 9 Juli 2024



(Dionisius Cahya Geovanni)



UNIVERSITAS KRISTEN INDONESIA
FAKULTAS TEKNIK

PERSETUJUAN DOSEN PEMBIMBING TUGAS AKHIR
PENGARUH TEMPERATUR TEMPER TERHADAP STRUKTUR KRISTAL,
KEKERASAN, DAN SIFAT MEKANIK PADA BAJA S45C

Oleh:

Nama : Dionisius Cahya Geovanni
NIM : 2251057004
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, 9 Juli 2024

Menyetujui

Pembimbing I

Ir. Sesmaro Max Yudha, MT
NIDN. 0323036703

Pembimbing II

Bantu Hotsan Simanullang, ST., MT
NIDN. 0307067905



Ketua Program Teknik Mesin

Ir. Budiarto M.Sc



Dekan

Dikky Antonius, S.T., M.Sc



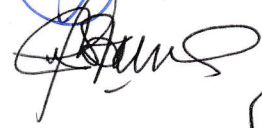
UNIVERSITAS KRISTEN INDONESIA
FAKULTAS TEKNIK

PERSETUJUAN TIM PENGUJI TUGAS AKHIR

Pada tanggal 9 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 : Dionisius Cahya Geovanni
NIM : 2251057004
Program Studi : Teknik Mesin
Fakultas : Teknik

Termasuk ujian Tugas Akhir yang berjudul “PENGARUH TEMPERATUR TEMPER TERHADAP STRUKTUR KRISTAL, KEKERASAN, DAN SIFAT MEKANIK PADA BAJA S45C” oleh tim penguji yang terdiri dari:

Nama Penguji	Jabatan dalam Tim Penguji	Tanda tangan
1 Ir. Budiarto M.Sc	Sebagai Ketua	
2 Dicky Antonius, S.T.,M.Sc	Sebagai Anggota	
3 Drs. Leonard Lisapaly,M.Si.,PhD	Sebagai Anggota	
4 Ir Sesmaro Max. Yuda,M.T	Sebagai Anggota	

Jakarta, 9 Juli 2024



UNIVERSITAS KRISTEN INDONESIA
FAKULTAS TEKNIK

Pernyataan dan Persetujuan Publikasi Tugas Akhir

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Dionisius Cahya Geovanni
NIM : 2251057005
Program Studi : Teknik Mesin
Fakultas : Teknik
Judul : PENGARUH TEMPERATUR TEMPER TERHADAP
STRUKTUR KRISTAL, KEKERASAN, DAN SIFAT MEKANIK
PADA 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 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.

Jakarta, 9 Juli 2024



(Dionisius Cahya Geovanni)

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur saya panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa atas anugerah-Nya sehingga saya dapat menyelesaikan penelitian dan penulisan skripsi ini dengan baik dan tepat waktu. Skripsi ini dibuat sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan program studi strata satu.

Saya menyadari bahwa laporan skripsi ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu, saya sangat mengharapkan masukan yang konstruktif dari para pembaca agar laporan ini dapat diperbarui dan bermanfaat bagi semua.

Skripsi ini berhasil disusun dan diselesaikan berkat bimbingan serta bantuan, baik secara langsung maupun tidak langsung, dari berbagai pihak. Oleh karena itu, saya ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Ir. Sesmaro Max Yudha, M.T dan Bapak Bantu Hotsan Simanullang, ST.,MT selaku pembimbing pertama dan kedua serta Bapak Ir. Budiarto, M.Sc selaku ketua program studi Teknik Mesin Universitas Kristen Indonesia sehingga penyusunan Skripsi dapat terselesaikan dengan baik.
2. Dikky Antonius, S.T.,M.Sc, Dekan Fakultas Teknik Universitas Kristen Indonesia, yang telah menyetujui penulisan tugas akhir ini.
3. Orang tua, sanak saudara, rekan kerja, dan adik saya yang telah mensupport dan membantu saya dalam proses pengerjaan skripsi ini.
4. Teman-teman mahasiswa alih program Teknik Mesin dan seluruh karyawan Universitas Kristen Indonesia yang telah membantu dalam penyusunan Skripsi ini.

Jakarta, 10 Juni 2024

DIONISIUS CAHYA GEOVANNI

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.....	x
DAFTAR TABEL	xi
ABSTRAK	xiii
<i>ABSTRACT</i>	xiv
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 Metode Pengumpulan Data.....	5
1.7 Sistematika Penulisan.....	5
BAB II LANDASAN TEORI.....	7
2.1 Baja Karbon	7
2.1.1 Baja Karbon Rendah	7
2.1.2 Baja Karbon Sedang.....	7
2.1.3 Baja Karbon Tinggi.....	7
2.1.4 Baja Paduan.....	8
2.2 Komposisi Baja S45C	10
2.3 Sifat-sifat Mekanik Bahan Teknik	11
2.4 Proses Perlakuan Panas (<i>Heat Treatment</i>)	13
2.4.1 <i>Anneling</i>	13
2.4.2 <i>Hardening</i>	14
2.4.3 <i>Tempering</i>	17

2.5	Media Pendingin	18
2.5.1	Air	18
2.5.2	Minyak	19
2.5.3	Udara	19
2.5.4	Garam	19
2.6	<i>Holding Time</i>	19
2.7	Diagram Fasa Besi Karbon	21
2.7.1	<i>CCT (Continuous Cooling Transformation)</i>	24
2.7.2	<i>TTT (Time -Temperature - Transformation)</i>	25
2.8	Struktur Kristal Baja	26
2.9	Sistem Kristal	29
2.10	Pengujian Baja	29
2.11	Pengujian Kekerasan	30
2.11.1	Pengujian kekerasan menurut <i>Brinell</i>	30
2.11.2	Pengujian kekerasan menurut <i>Vickers</i>	31
2.11.3	Pengujian kekerasan menurut <i>Rockwell</i>	31
2.12	Konversi Kekerasan	32
2.13	Korelasi Antara Kekerasan dan Kekuatan Tarik	33
2.14	Poros atau <i>Shaft</i>	34
2.15	<i>XRD (X-Ray Diffraction)</i>	35
BAB III	METODOLOGI PENELITIAN	41
3.1	Teknik Pengumpulan Data	41
3.1.1	Alur Penelitian	41
3.2	Persiapan Material Uji	43
3.3	Hasil Sampel Material Uji	43
3.3.1	Tanpa Perlakuan Panas	43
3.3.2	Perlakuan Panas	44
3.4	Pengujian	44
3.5	Pengolahan Data	46
3.6	Tempat dan Waktu penelitian	47
3.6.1	Tempat Penelitian	47
3.6.2	Waktu Penelitian	47
3.6.3	Bahan Penelitian	47

3.7	Kesimpulan.....	51
BAB IV	HASIL DAN PEMBAHASAN.....	53
4.1	Proses Penelitian	53
4.2	Pengujian XRD	54
4.2.1	Data Hasil Pengujian XRD.....	54
4.2.2	Analisis Hasil Pengujian XRD	58
4.2.3	Pembahasan Hasil Pengujian XRD	60
4.3	Pengujian Kekerasan <i>Brinell</i>	62
4.3.1	Hasil Pengujian Kekerasan Pada Baja S45C.....	62
4.3.2	Analisa Pengaruh Media <i>Tempering</i> Terhadap Kekerasan pada Baja S45C	63
4.3.3	Pembahasan Hasil Uji Kekerasan Pada Baja S45C.....	63
4.4	Pengujian Kekuatan Tarik.....	64
4.4.1	Data Hasil Nilai Kekuatan Tarik Pada Baja S45C	65
4.4.2	Pengaruh Media <i>Tempering</i> Terhadap Kekuatan Tarik Pada Baja S45C.....	65
4.4.3	Pembahasan Hasil Nilai Kekuatan Tarik Pada Baja S45C ...	65
4.5	Analisa Hasil Hubungan Struktur Kristal (XRD) terhadap kekerasan dan Kekuaran Tarik	66
BAB V	KESIMPULAN.....	67
5.1.	Kesimpulan.....	68
5.2.	Saran	68
DAFTAR PUSTAKA		69

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1	Grafik Perlakuan Panas	14
Gambar 2. 2	kurva perbandingan dimensi dan waktu pemanasan	16
Gambar 2. 3	Suhu waktu pendinginan dan oli	17
Gambar 2. 4	Perlakuan panas <i>hardening-tempering</i> pada baja	18
Gambar 2. 5	Skema Diagram Fasa Fe-C dan Fe ₃ c	21
Gambar 2. 6	Diagram Fasa	22
Gambar 2. 7	Fasa Baja <i>Eutectoid</i>	23
Gambar 2. 8	Diagram CCT (Continuous Cooling Transformation)	24
Gambar 2. 9	Diagram TTT (Time -Temperature - Transformation)	26
Gambar 2. 10	Struktur Kristal <i>Body Centered Cubic (BCC)</i>	27
Gambar 2. 12	Struktur Kristal <i>Hexagonal Close Packed (HCP)</i>	28
Gambar 2. 13	Struktur Kristal <i>Body Centered Tetragonal (BCT)</i>	28
Gambar 2. 14	Pengujian Kekerasan <i>Rockwell</i>	32
Gambar 2. 15	Perbandingan Dari Beberapa Kekerasan	33
Gambar 2. 16	Hubungan antara kekerasan dan Kekuatan tarik untuk baja, kuningan, dan besi cor	34
Gambar 2. 17	Difraksi atom-atom kristal	37
Gambar 2. 18	Difraksi <i>Bragg</i>	37
Gambar 2. 19	<i>X-Ray Diffraction (XRD)</i>	39
Gambar 3. 1	Material Uji	43
Gambar 3. 2	<i>Design</i> Material Uji	43
Gambar 3.3	Sampel Uji tanpa perlakuan panas	44
Gambar 3.4	Sampel Uji 200°, 250°, dan 300°	44
Gambar 3.5	Baja S45C	48
Gambar 4. 1	Material Uji Setelah Proses Perlakuan Panas	53
Gambar 4. 2	Difraktrogram sinar X dari baja S45C yang di lakukan variasi <i>temperature tempering</i>	55
Gambar 4. 3	D Ukuran Kristal	58
Gambar 4. 4	Kerapatan Dislokasi	59
Gambar 4. 5	Regangan Kisi	60
Gambar 4. 6	Uji Kekerasan	63
Gambar 4. 7	Uji Tarik	65

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1	Pengaruh Unsur paduan Pada Baja.....	8
Tabel 2. 2	Tabel Komposisi unsur-unsur baja karbon rendah S45C.....	10
Tabel 2. 3	Tabel Pedoman Suhu (Holding Time)	20
Tabel 3. 1	Bahan Pendukung	48
Tabel 3. 2	Alat Penelitian	48
Tabel 3. 3	Alat Pngujian	51
Tabel 4. 1	Proses Perlakuan Panas.....	54
Tabel 4. 2	Data Hasil Pengujian Material Asli	56
Tabel 4. 3	Data Hasil Pengujian Temperatur 200°C.....	56
Tabel 4. 4	Data Hasil Pengujian Temperatur 250°C.....	57
Tabel 4. 5	Data Hasil Pengujian Temperatur 300°C.....	57
Tabel 4. 6	Analisa Hasil Pengujian XRD	58
Tabel 4. 7	Hasil Pengujian Kekerasan Baja S45C.....	62
Tabel 4. 8	Kekuatan Tarik Pada Baja S45C.....	65

ABSTRAK

Baja JIS S45C yang digunakan dalam penelitian ini adalah baja karbon yang sesuai dengan standar JIS, yang menjadi acuan untuk kegiatan industri di Jepang. Diklasifikasikan sebagai baja karbon sedang, baja JIS S45C ditandai dengan kode 'S' diikuti oleh nomor unsur kimianya, dengan '45C' menunjukkan kandungan karbon sekitar 0,45%. Dengan kandungan karbon sekitar 0,45% tersebut, baja S45C cocok untuk menjalani prosedur perlakuan panas tertentu. Melalui proses *hardening*, baja S45C akan mengalami kenaikan kekuatan fisik dan mekanik yang cukup signifikan, sehingga *hardening* pada baja S45C sangat penting dalam meningkatkan nilai guna pada baja S45C. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji pengaruh variasi temperatur temper terhadap struktur kristal dan sifat mekanik baja karbon S45C. Baja S45C yang telah mengalami *hardening* selama 3 menit, selanjutnya dilakukan proses *quenching* dan kemudian diberi perlakuan *tempering* pada temperatur 200°C, 250°C, dan 300°C dengan waktu tahan yang sama yaitu 30 menit. Analisis struktur kristal dilakukan menggunakan *X-Ray Diffraction (XRD)* untuk mengidentifikasi perubahan fase dan ukuran butir kristal yang dihasilkan dari proses *tempering*. Dilakukan pengujian kekerasan dengan metode *brinell* dan untuk sifat mekanik pada baja S45C dilakukan dengan mengkonversi nilai kekerasan menggunakan metode *brinell*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan temperatur *tempering* menyebabkan transformasi struktur kristal dari martensit menjadi ferrit dan perlit, serta peningkatan ukuran butir kristal. Pada temperatur temper yang lebih tinggi, struktur martensit yang terbentuk selama pengerasan berubah menjadi *ferrit* dan *perlit*, yang lebih stabil pada temperatur tinggi. Analisis XRD mengonfirmasi perubahan ini dengan pola difraksi yang menunjukkan pergeseran puncak dan perubahan intensitas yang konsisten dengan transformasi fase tersebut.

Kata kunci: Baja S45C, *Hardening*, *Quenching*, *Tempering*, Struktur Kristal, Kekerasan, Struktur Kristal, *X-Ray Diffraction (XRD)*, Konversi *Brinell*

ABSTRACT

This research employs JIS S45C steel, which is carbon steel conforming to JIS standards, serving as a benchmark for industrial activities in Japan. Classified as medium carbon steel, JIS S45C steel is marked with the code 'S' followed by its chemical element number, with '45C' indicating a carbon content of around 0.45%. With this carbon content of about 0.45%, S45C steel is suitable for undergoing specific heat treatment procedures. Through the hardening process, S45C steel will experience a significant increase in physical and mechanical strength, making hardening crucial in enhancing the utility value of S45C steel. Essentially, this research is conducted to understand the impact of tempering temperature variations on the crystal structure and mechanical properties of S45C carbon steel. S45C steel, which has undergone hardening for 30 minutes, is then quenched and subjected to tempering at temperatures of 200°C, 250°C, and 300°C with the same holding time of 30 minutes. X-Ray Diffraction (XRD) is used to investigate the crystal structure changes and grain size resulting from tempering processes. Hardness testing is conducted using the Brinell method, while the mechanical properties of S45C steel are assessed by converting hardness values using the Brinell method. The research findings indicate that increasing tempering temperature leads to the transformation of the crystal structure from martensite to ferrite and pearlite, along with an increase in grain size. At higher tempering temperatures, the martensitic structure formed during the hardening process transforms into ferrite and pearlite, which are more stable at high temperatures. XRD analysis confirms these changes with diffraction patterns showing peak shifts and intensity changes consistent with phase transformations.

Keywords: Steel S45C, Hardening, Quenching, Tempering, Struktur Kristal, Hardnes, Struktur Kristal, XRD, Konversi Brinell