



**PENGARUH MEDIA *QUENCHING SILICON OIL, CASHEW
NUT SHELL LIQUID, CRUDE PALM OIL*, DAN
KOMBINASINYA DENGAN Al_2O_3 TERHADAP STRUKTUR
MIKRO DAN SIFAT BAJA S45C**



TESIS

**UNIVERSITAS
SUKENDAR
5583120001
MERCU BUANA**

**PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MERCU BUANA
JAKARTA
2026**



**PENGARUH MEDIA *QUENCHING SILICON OIL, CASHEW
NUT SHELL LIQUID, CRUDE PALM OIL*, DAN
KOMBINASINYA DENGAN Al_2O_3 TERHADAP STRUKTUR
MIKRO DAN SIFAT BAJA**

TESIS

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh Gelar Magister

**UNIVERSITAS
SUKENDAR
55823120001
MERCU BUANA**

**PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MERCU BUANA
JAKARTA
2026**

HALAMAN PENYATAAN KARYA SENDIRI

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Sukendar
NIM : 55823120001
Fakultas/Program Studi : Teknik/Magister Teknik Mesin

Menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa Tesis berjudul:

“ PENGARUH MEDIA *QUENCHING SILICON OIL*, *CASHEW NUT SHELL LIQUID*, *CRUDE PALM OIL*, DAN KOMBINASINYA DENGAN Al_2O_3 TERHADAP STRUKTUR *MIKRO* DAN SIFAT BAJA” adalah hasil karya saya sendiri, tidak mengandung unsur plagiarisme, pelanggaran hak cipta, atau konten ilegal dalam bentuk apapun dan tidak melanggar hukum atau hak pihak manapun.

Apabila di kemudian hari ditemukan pelanggaran terhadap pernyataan ini, saya bersedia menanggung seluruh konsekuensi hukum dan membebaskan Universitas Mercu Buana Jakarta dari segala bentuk tuntutan hukum dan saya siap mendapatkan sanksi akademis yang berlaku di Universitas Mercu Buana Jakarta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya untuk digunakan sebagaimana mestinya.

Jakarta, 25 Februari 2026



Sukendar

SURAT KETERANGAN HASIL *SIMILARITY*

Menerangkan bahwa Karya Ilmiah/Laporan Tugas Akhir/Skripsi pada BAB I,, BAB III, BAB IV dan BAB V atas nama:

Nama : Sukendar
NIM : 55823120001
Program Studi : Magister Teknik Mesin
Judul Tugas Akhir / Tesis
/ Praktek Keinsinyuran : **PENGARUH MEDIA QUENCHING SILICON OIL, CASHEW NUT SHELL LIQUID, CRUDE PALM OIL, DAN KOMBINASINYA DENGAN A12O3 TERHADAP STRUKTUR MIKRO DAN SIFAT BAJA S45C**

Telah dilakukan pengecekan *Similarity* menggunakan aplikasi/sistem *Turnitin* pada **Jumat, 27 Februari 2026** dengan hasil presentase sebesar **10 %** dan dinyatakan memenuhi standar sesuai dengan ketentuan yang berlaku di Fakultas Teknik Universitas Mercu Buana.

Demikian surat keterangan ini dibuat dan digunakan sebagaimana mestinya.

MERCU BUANA

Jakarta, 27 Februari 2026

Administrator Turnitin,



Itmam Haidi Syarif

HALAMAN PENGESAHAN

Tesis ini diajukan oleh:

Nama : Sukendar
NIM : 55823120001
Fakultas/Program Studi : Magister Teknik Mesin
Judul Tesis : PENGARUH MEDIA *QUENCHING SILICON OIL, CASHEW NUT SHELL LIQUID, CRUDE PALM OIL*, DAN KOMBINASINYA DENGAN Al_2O_3 TERHADAP STRUKTUR *MIKRO* DAN SIFAT BAJA.

Telah berhasil dipertahankan pada sidang tanggal 7 Februari 2026 di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Magister pada Program Studi Magister Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Mercu Buana.

Disahkan oleh:

Pembimbing

(Sagir Alva S.Si, M.Sc., Ph.D)
NIDN: 0313037707

Jakarta, 7 Februari 2026

Mengetahui,

Dekan Fakultas Teknik

Ketua Program Studi
Magister Teknik Mesin

(Dr. Zulfa Fitri Ikatrinasari, M.T.)
NIDN: 0307037202

(Muhamad Fitri, S.T, M.Si., Ph.D)
NIDN: 1013126901

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT atas rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyusun dan menyelesaikan laporan tesis yang berjudul: “PENGARUH MEDIA *QUENCHING SILICON OIL, CASHEW NUT SHELL LIQUID, CRUDE PALM OIL*, DAN KOMBINASINYA DENGAN Al_2O_3 TERHADAP STRUKTUR *MIKRO* DAN SIFAT BAJA S45C”. Laporan tesis ini disusun sebagai persyaratan akademik dalam menyelesaikan studi pada Program Pascasarjana Magister Teknik Mesin, Universitas Mercu Buana Jakarta.

Dengan penuh rasa hormat dan penghargaan, penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Prof.Dr.Ir. Andi Adriansyah, M. Eng selaku Rektor Universitas Mercu Buana Jakarta;
2. Dr. Zulfa Fitri Ikatrinasari, M.T selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Mercu Buana Jakarta;
3. Muhamad Fitri, ST., M.Si., Ph.D Sebagai Ketua Program Studi Magister Teknik Mesin Universitas Mercu Buana Jakarta;
4. Sagir Alva, S.Si., M.Sc., Ph.D selaku dosen pembimbing, atas segala bimbingan, arahan, dan motivasi yang sangat berarti selama proses penyusunan laporan tesis ini;
5. Dianta Ginting, Ssi, Msi, Ph.D sebagai dosen pembimbing teknis yang telah meluangkan waktu, tenaga, serta pikiran dalam memberikan arahan dalam penelitian tesis ini;
6. BRIN (Badan Riset Dan Inovasi Nasional) Deputi Bidang Infrastruktur Riset Dan Inovasi Direktorat Pengelolaan Laboratorium Fasilitas Riset Dan Kawasan Sains Teknologi Laboratorium Mekanika Material Dan Struktur Kawasan Sains Teknologi BJ Habibie Gd. 220 Setu Tangerang Selatan 15314;
7. P.T. COMEXTRA MAJORA *since 1988* Makassar – Indonesia
8. Seluruh dosen dan staf Program Pascasarjana Teknik Mesin yang telah memberikan ilmu dan pengalaman berharga selama masa studi;
9. Kepada orang tua, mertua, Istri, anak dan seluruh keluarga yang telah memberikan doa dan dukungannya;

10. Rekan-rekan mahasiswa program studi magister teknik mesin atas kerja sama, diskusi, dan dukungan yang saling menguatkan;

Penulis menyadari bahwa laporan tesis ini masih jauh dari sempurna. Kritik dan saran sangat diharapkan untuk menyempurnakan penelitian ini ke depan. Semoga penelitian ini dapat memberikan manfaat bagi perkembangan ilmu pengetahuan dan di dunia akademik maupun industri.

Jakarta, 7 Februari 2026

Penulis



**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
TUGAS AKHIR DI REPOSITORI UMB**

Sebagai sivitas akademik Universitas Mercu Buana, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Sukendar
NIM : 55823120001
Fakultas/Program Studi : Teknik/ Magister Teknik Mesin
Judul Tesis : PENGARUH MEDIA *QUENCHING SILICON OIL, CASHEW NUT SHELL LIQUID, CRUDE PALM OIL*, DAN KOMBINASINYA DENGAN Al_2O_3 TERHADAP STRUKTUR *MIKRO* DAN SIFAT BAJA S45C.

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, dengan ini memberikan izin dan menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Mercu Buana **Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif** (*Non-exclusive Royalty-Free Right*) atas karya ilmiah saya yang berjudul di atas beserta perangkat yang ada (jika diperlukan).

Dengan Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif ini Universitas Mercu Buana berhak menyimpan, mengalihmedia/format-kan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan mempublikasikan Tesis saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Jakarta, 25 Februari 2026

Yang menyatakan,



(Sukendar)

PENGARUH MEDIA *QUENCHING SILICON OIL, CASHEW NUT SHELL LIQUID, CRUDE PALM OIL*, DAN KOMBINASINYA DENGAN Al_2O_3 TERHADAP STRUKTUR *MIKRO* DAN SIFAT BAJA S45C (SUKENDAR)

ABSTRAK

Baja menjadi material yang banyak digunakan dalam aplikasi teknik karena biayanya rendah dan sifat mekaniknya dapat direkayasa. Baja S45C sering digunakan untuk berbagai aplikasi teknik, karena memiliki keseimbangan kekuatan dan keuletan yang baik. Namun, pada aplikasi dengan beban dinamis tinggi seperti poros dan lain-lain peningkatan performa mekanik menjadi suatu kebutuhan. Salah satu metode untuk meningkatkan sifat mekanik adalah perlakuan panas *quenching*. Penggunaan media *quenching konvensional* seperti air sering menyebabkan retak *thermal* dan *distorsi*, sementara penggunaan minyak mineral beresiko mudah terbakar dan kurang ramah lingkungan. Penelitian ini mengeksplorasi *Silicon Oil*, *Crude Palm Oil* (CPO), dan *Cashew Nut Shell Liquid* (CNSL), serta modifikasinya dengan penambahan 0,015 wt% *nanopartikel Al_2O_3* , sebagai media *quenching alternative*. *Specimen* di *austenitisasi* pada suhu 850°C selama 120 menit, kemudian di *quenching*, lalu di *tempering* pada suhu 500°C selama 100 menit. Hasil menunjukkan bahwa sampel yang di *quenching* menggunakan CPO ditambah 0,015 wt% Al_2O_3 memberikan performa terbaik, dengan peningkatan kekerasan dari 31,8 HRC menjadi 49,35 HRC setelah *tempering*. *Ultimate tensile strength* meningkat dari ~674 MPa menjadi ~783 MPa, sedangkan *yield strength* meningkat dari ~408 MPa menjadi ~517 MPa, dengan *elongasi* 18,7%, mencerminkan keseimbangan kekuatan dan keuletan. Analisis *mikrostruktur* mengonfirmasi terbentuknya *martensit temper* halus dengan *presipitasi karbida homogen*. Selain itu juga ada peningkatan kadar karbon dari 0,43 menjadi 0,463 wt%, dan peningkatan regangan kisi *mikro* ($0,45 \times 10^{-3}$) dengan ukuran *kristalit* (~68 nm). Secara keseluruhan, tiga media *quenching* yang dimodifikasi *nanopartikel Al_2O_3* berpotensi menjadi media *quenching alternative* berkelanjutan.

Kata Kunci: Baja S45C, Perlakuan panas *quenching*, Media *quenching alternative*, Sifat mekanik baja, *Microstruktur* Baja.

**THE INFLUENCE OF SILICON OIL, CASHEW NUT SHELL LIQUID,
CRUDE PALM OIL, AND THEIR COMBINATIONS WITH Al_2O_3 AS
QUENCHING MEDIA ON THE MICROSTRUCTURE AND PROPERTIES
OF S45C STEEL
(SUKENDAR)**

ABSTRACT

Steel is widely used in engineering applications due to its low cost and highly customizable mechanical properties. S45C steel is one of the most commonly used grades because it provides a good balance between strength and ductility. However, in applications subjected to high dynamic loads, such as shafts, enhanced mechanical performance becomes essential. One of the most effective methods to improve mechanical properties is the quenching heat-treatment process. Conventional quenching media such as water often cause thermal cracking and distortion, while mineral oils present risks of flammability and are less environmentally friendly. This study explores Silicon Oil, Crude Palm Oil (CPO), and Cashew Nut Shell Liquid (CNSL), along with their modifications through the addition of 0.015 wt% Al_2O_3 nanoparticles, as alternative quenching media. The specimens were austenitized at 850°C for 120 minutes, quenched, and subsequently tempered at 500°C for 100 minutes. The results show that specimens quenched in CPO with 0.015 wt% Al_2O_3 exhibited the best performance, with hardness increasing from 31.8 HRC to 49.55 HRC after tempering. The ultimate tensile strength increased from ~674 MPa to ~783 MPa, while the yield strength increased from ~408 MPa to ~517 MPa, with an elongation of 18.7%, demonstrating an excellent balance between strength and ductility. Microstructural analysis confirmed the formation of fine tempered martensite with homogeneous carbide precipitation. Additionally, there was an increase in carbon content from 0.43 to 0.463 wt%, as well as an increase in micro-lattice strain (0.45×10^{-3}) with a crystallite size of approximately 68 nm. The three nanoparticle-modified quenching media exhibit strong potential as sustainable alternative quenching media.

Keywords: *S45C Steel, Quenching Heat Treatment, Alternative Quenching Media, Mechanical Properties, Steel Microstructure.*

DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL	0
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENYATAAN KARYA SENDIRI	ii
HALAMAN SURAT KETERANGAN HASIL <i>SIMILARITY</i>	iii
HALAMAN PENGESAHAN	iv
KATA PENGANTAR	v
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR DI REPOSITORY UMB	vii
ABSTRAK	viii
<i>ABSTRACT</i>	ix
DAFTAR ISI	x
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xvi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	6
1.3 Tujuan Penelitian	6
1.4 Batasan Masalah	7
1.5 <i>Novelty</i>	8
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	9
2.1 Baja Karbon	9
2.2 Studi <i>Literatur</i>	10
2.3 Sifat Baja	16
2.4 Struktur <i>Mikro</i> Baja	17
2.5 Perlakuan Panas <i>Quenching</i>	21
2.6 Media Pendingin <i>Quenching</i>	22
2.7 <i>Tempering</i>	25
2.8 <i>Termodinamika Transformasi Martensit</i>	26
2.9 Pengujian Logam	28
BAB III METODE PENELITIAN	36
3.1 Jenis Penelitian, Objek Penelitian, Lokasi dan Jadwal Penelitian	36

3.2 Diagram Alir Penelitian.....	37
3.3 Tahapan Penelitian	38
3.4 Pembuatan Sampel Penelitian	38
3.5 Kalibrasi Peralatan	39
3.6 Proses Perlakuan Panas Dan Quenching.....	40
3.7 Pengujian Sampel.....	42
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	47
4.1 <i>Termodinamika Transformasi Martensit</i>	47
4.2 Analisa <i>Microcracking</i>	50
4.3 Hasil Pengujian Kekerasan <i>Rockwell</i>	51
4.4 <i>X-ray Diffraction</i> (XRD) Analysis.....	53
4.5 Pengamatan <i>Metalografi</i>	56
4.6 <i>Spektrometri Emisi Optik</i> (OES).....	60
4.7 Pengujian Kekuatan Tarik.....	63
BAB V PENUTUP.....	67
5.1 KESIMPULAN	67
5.2 SARAN	68
DAFTAR PUSTAKA	69
LAMPIRAN.....	79

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Komposisi Baja S45C.....	9
Tabel 2.2 Data Mekanik Baja S45C	9
Tabel 2.3 Penelitian Terdahulu	10
Tabel 2.4 Jenis-Jenis Media Pendingin dan Karakteristiknya	22
Tabel 2.5 Jenis-Jenis Media Pendingin <i>Alternative</i> dan Karakteristiknya.....	24
Tabel 3.1 <i>Time Line</i> Penelitian	36
Tabel 3.2 Jumlah pembuatan sampel.....	39
Tabel 4.1 Kekerasan <i>Rockwell</i> (HRC) sampel penelitian baja S45C	52
Tabel 4.2 Kandungan Unsur dan Komponen Crude Palm Oil	60
Tabel 4.3 Kandungan Unsur dan Komponen Cashew Nut Shell Liquid.....	61
Tabel 4.4 <i>Spektrometri Emisi Optik (OES)</i> komposisi kimia baja S45C.....	62
Tabel 4.5 Kuat tarik dan kuat luluh sampel penelitian baja S45C.....	63

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Diagram <i>Phasa</i> Fe-Fe ₃ C.....	18
Gambar 2.2 Diagram TTT Dan Diagram CCT.....	19
Gambar 2.3 Diagram CCT (<i>Continous Cooling Transformation</i>).....	19
Gambar 2.4 Diagram CCT Baja S45C	20
Gambar 2.5 Struktur <i>Mikro</i> Baja	21
Gambar 2.6 Diagram Proses <i>Quenching Tampering</i>	22
Gambar 2.7 Perambatan <i>crack</i> selama uji <i>Impak Charpy</i>	26
Gambar 2.8 Skema Energi Bebas <i>Gibbs</i> Sebagai Fungsi Temperatur Dan Driving Force Transformasi Fasa Padat	27
Gambar 2.9 Hubungan Energi Bebas <i>Gibbs Thermal</i> dan Mekanik Terhadap Temperatur Pada Transformasi <i>Austenite-Martensite</i>	27
Gambar 2.10 Skema Perubahan Energi Bebas <i>Gibbs</i> Terhadap Temperatur Pada Transformasi <i>Austenite (γ)</i> Ke <i>Martensite (α')</i> Dalam Baja	27
Gambar 2.11 <i>Microscope Metalografi</i>	29
Gambar 2.12 Mesin SEM.....	30
Gambar 2.13 Alat Uji Tarik.....	30
Gambar 2.14 Kurva tegangan-regangan baja	31
Gambar 2.15 Perbandingan antara kurva tegangan regangan teknik dengan <i>Kurva</i> tegangan regangan sejati	32
Gambar 2.16 Sampel uji tarik standar ASTM E8M	32
Gambar 2.17 Skema Pengujian Kekerasan <i>Brinell</i>	33
Gambar 2.18 Alat Uji Kekerasan Uji Kekerasan <i>Rockwell</i>	34
Gambar 2.19 Pengujian hardness <i>Vickers</i>	35
Gambar 2.20 Uji impak teknik <i>izod</i> dan <i>charpy</i>	35
Gambar 3.1. Diagram Alir Proses Penelitian	37
Gambar 3.2 Bahan dan material yang digunakan pada penelitian	38
Gambar 3.3 Peralatan yang digunakan pada penelitian.....	38

Gambar 3.4 Pembuatan Sampel Penelitian	39
Gambar 3.5 Kalibrasi <i>Furnance</i> dan Kalibrasi Timbangan	40
Gambar 3.6 Setting Parameter Proses Perlakuan Panas	40
Gambar 3.7 Media <i>Quenching Silicon Oil</i> , CNSL, CPO, Dan Al_2O_3	40
Gambar 3.8 Proses <i>Quenching</i> Menggunakan Media <i>Silicon Oil</i> , CNSL, CPO, Dan Campuran Media Tersebut Dengan Al_2O_3	41
Gambar 3.9 Proses perlakuan panas baja S45C	41
Gambar 3.10 Pengujian Kekerasan Rockwell Sampel Penelitian	42
Gambar 3.11 Identor Pada Uji Kekerasan Rockwell	42
Gambar 3.12 Pengujian X-ray Diffraction (XRD) Analysis	44
Gambar 3.13 Mesin Spektrometri Emisi Optik (OES)	45
Gambar 3.14 Mesin uji Tarik JTM 2000kN model UPM 1000	46
Gambar 3.15 Sample Uji Tarik Standar ASTM E8M	46
Gambar 4.1 Representasi skematik energi bebas Gibbs kimia dari fasa austenit induk (γ -FCC) dan fasa martensit hasil (α' -BCT). Gambar ini juga menunjukkan temperatur T_0 , M_s , dan A_s	48
Gambar 4.2 <i>Microcracking</i> Pada Baja S45C Akibat Tegangan Sisa Setelah Proses <i>Quenching</i>	51
Gambar 4.3 Grafik Rata-rata Kekerasan Sampel Baja S45C Hasil Proses <i>Quenching</i> Dan <i>Tempering</i> Menggunakan <i>Silicon Oil</i> , CNSL, CPO Dan Campuran Media <i>Quenching</i> Tersebut Dengan 0,015% Al_2O_3	52
Gambar 4.4 Kurva XRD sampel baja S45C Tanpa <i>Quenching</i> , <i>Quenching Silicon</i> <i>Oil</i> , <i>Quenching Silicon Oil</i> + 0,015wt% Al_2O_3 Non <i>Tempering</i> Dan <i>Tempering</i>	54
Gambar 4.5 Kurva XRD sampel baja S45C Tanpa <i>Quenching</i> , <i>Quenching CNSL</i> , <i>Quenching CNSL</i> + 0,015wt% Al_2O_3 Non <i>Tempering</i> Dan <i>Tempering</i>	54
Gambar 4.6 Kurva XRD sampel baja S45C Tanpa <i>Quenching</i> , <i>Quenching CPO</i> , <i>Quenching CPO</i> + 0,015wt% Al_2O_3 Non <i>Tempering</i> Dan <i>Tempering</i>	54

Gambar 4.7 <i>Mikrograf SEM Baja S45C : (a) Material Dalam Kondisi Awal (As-Received) (b) Hasil Quenching Dalam Silicon Oil + 0,15wt% Al₂O₃ + Tempering (c) Hasil Quenching Dalam CNSL + 0,015wt% Al₂O₃ + Tempering (d) Hasil Quenching Dalam CPO + 0,015WT% Al₂O₃ + Tempering</i>	56
Gambar 4.8 <i>Optical Metalografi Mikro Struktur Baja S45C : (a) Tanpa Perlakuan (b) Silicon Oil (c) CPO (d) CNSL (e) Silicon Oil + Al₂O₃ (f) CPO + Al₂O₃ (g) CNSL + Al₂O₃ (h) Silicon Oil + Al₂O₃ Tempering (i) CPO + Al₂O₃ Tempering (j) CNSL + Al₂O₃ Tempering</i>	58
Gambar 4.9 <i>Grafik Kuat Luluh Sampel Baja S45C Hasil Proses Quenching Dan Tempering Menggunakan Silicon Oil, CNSL, CPO, Dan Campuran Media Quenching Tersebut Dengan 0,015wt% Al₂O₃</i>	64
Gambar 4.10 <i>Grafik Kuat Tarik Sampel Baja S45C Hasil Proses Quenching Dan Tempering Menggunakan Silicon Oil, CNSL, CPO, Dan Campuran Media Quenching Tersebut Dengan 0,015wt% Al₂O₃</i>	64

DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1. *Data Sheet Manufacture* Baja S45C
- Lampiran 2. *Report Analis XRD*
- Lampiran 3. *Report Pengamatan SEM*
- Lampiran 4. *Report Uji Komposisi*
- Lampiran 5. *Report Uji Tarik*
- Lampiran 6. *Report Pengamatan Optical Metalografi*
- Lampiran 7. Catatan Penguji Sidang Akhir Tesis

