

**ANALISIS VARIASI TEMPERATUR, DAN KATALIS PADA PROSES PACK
CARBURIZING TERHADAP KEKERASAN DAN KELELAHAN PADA BAJA ST-**

41

SKRIPSI



Disusun Oleh :

NAMA : EGRYANTO STEPANUS

NIM : 2210816210002

PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS LAMBUNG MANGKURAT

BANJARBARU

2026

LEMBAR PENGESAHAN

LEMBAR PENGESAHAN

SKRIPSI PROGRAM STUDI S-1 TEKNIK MESIN

ANALISIS VARIASI TEMPERATUR, DAN KATALIS PADA PROSES PACK CARBURIZING TERHADAP KEKERASAN DAN KELELAHAN PADA BAJA ST-41

Oleh

Egryanto Stepanus (2210816210002)

Telah dipertahankan di depan tim penguji pada 13 Juli 2026 dan dinyatakan

LULUS

Komite Penguji :

Ketua

Prof. Dr. Ir. Rachmat Subagyo, S.T., M.T.
NIP. 197608052008121001

Anggota 1

Ir. Akhmad Syarief, S.T., M.T.
NIP. 197105231999031004

Anggota 2

Ir. Aqli Mursadin, S.T., M.T., Ph.D.
NIP. 197106111995121001

Pembimbing Utama

Dr. Ir. Abdul Ghofur, S.T., M.T.
NIP. 197007171998021001

Banjarbaru, 29 JUL 2026
diketahui dan disahkan oleh:

Wakil Dekan Bidang Akademik
Fakultas Teknik ULM,



Dr. Ir. H. Mahmud, S.T., M.T.
NIP. 197401071998021001

Ketua Jurusan Teknik Mesin
Fakultas Teknik ULM,



Dr. Ir. H. Mahmud, S.T., M.T.
NIP. 197401071998021001

IDENTITAS

JUDUL SKRIPSI : ANALISIS VARIASI TEMPERATUR, DAN KATALIS
PADA PROSES PACK CARBURIZING TERHADAP
KEKERASAN DAN KELELAHAN PADA BAJA ST-41

Nama Mahasiswa : Egryanto Stepanus

Nim : 2210816210002

KOMITE PEMBIMBING

Pembimbing 1 : Prof. Dr. Ir. Abdul Ghofur, S.T., M.T.,IPM, ASEAN Eng

KOMITE PENGUJI

Dosen Penguji 1 : Prof. Dr. Ir. Rachmad Subagyo, S.T., M.T.

Dosen Penguji 2 : Ir. Akhmad Syarief, S.T., M.T.

Dosen Penguji 3 : Ir. Aqli Mursadin, S.T., M.T.,Ph.D.

WAKTU DAN TEMPAT UJIAN SKRIPSI

Seminar Proposal : 04/11/2025

Seminar Hasil : 06/07/2026

Ujian Akhir : 13/07/2026

Tempat : Ruang Sidang PSTM FT ULM

SK Penguji : -

HALAMAN KONSULTASI SKRIPSI

LEMBAR KONSULTASI PROPOSAL SKRIPSI

Nama Mahasiswa : EGRYANTO STEPANUS

NIM : 2209016230002

Judul Skripsi : ANALISIS VARIASI TEMPERATUR,
QUENCHING DAN KATALIS PADA PROSES PACK
CARBURIZING TERHADAP KEKERASAN DAN
KELELAHAN PADA BAJA ST-41.

NO	TANGGAL	MATERI KONSULTASI	TTD
		- pendahuluan	
	15/10/25	- jenis di ganti, agar lebih menarik dan panjang	
		- Latar belakang.	
	16/10/25	- ingin apa hasil dari skripsi.	
	17/10/25	- variabel di pertahankan	
	20-10-25	- tabel data dalam pengujian data dan hasil di susun	
		- silahkan diperiksa	

Banjarbaru, 20-10-25.

Pembimbing


Prof. Dr. Ir. Abdul Ghofur, S.T., M.T., I.P.A.

LEMBAR KONSULTASI SKRIPSI

Nama Mahasiswa : Egryanto Stepanus
 NIM : 2210816210002
 Judul Skripsi : "ANALISIS PENGARUH VARISASI, QUENCHING
 DAN KATALIS PADA PROSES PACK CARBURIZING TERHADAP
 KEKERASAN DAN KELELAHAN PADA BAJA ST-41".

No	Tanggal	Materi Konsultasi	TTD
1.	19 Februari 2026	Konsultasi Spesimen	
2.	10 April 2026	Format Penyesunan Bab IV	
3.	07 Mei 2026	Perbaikan pembahasan Bab IV	
4.	08 Mei 2026	Penambahan diagram batang	
5.	13. Mei 2026	Penambahan materi Bab IV	
6.	12. Juni 2026	Penyesuaian kesimpulan dan saran	
7.	ACC	ACC Bab IV	
8.	18. Juni 2026	Revisi akhir keseluruhan skripsi	
9.	20. Juni 2026	ACC keseluruhan skripsi	

Banjarbaru,

Pembimbing


Dr. Ir. Abdul Ghofur, S.T., M.T., IPM.,
 NIP. 197007171998021001

ORISINALITAS**PENELITIAN SKRIPSI**

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya, di dalam naskah Penelitian Skripsi ini tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di Perguruan Tinggi dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali secara tertulis dari naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dari daftar Pustaka.

Apabila ternyata di dalam naskah Skripsi ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur jiplakan Skripsi, saya bersedia Skripsi dibatalkan, serta diprotes sesuai dengan pertauran perundang-undangan yang berlaku (UU No. 20 Tahun 2003, pasal 25 ayat 2 dan pasal 70).

Banjarbaru, 31 Juli 2026

Mahasiswa,



Egryanto Stepanus

NIM. 2210816210002

RIWAYAT HIDUP

Egryanto Stepanus lahir di Buntut Bali pada 22 Juli 2003. Penulis menempuh pendidikan di SD Negeri 4 Tanah Putih pada tahun 2009–2015, kemudian melanjutkan pendidikan di SMP Negeri 5 Kota Bési pada tahun 2015–2018, dan SMK Negeri 1 Palangka Raya pada tahun 2018–2021. Pada tahun 2022, penulis melanjutkan pendidikan di Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Lambung Mangkurat, Banjarbaru, Kalimantan Selatan.

Banjarbaru, 31Juli 2026

Mahasiswa



Egryanto Stepanus
2210816210002

UCAPAN TERIMAKASIH

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa atas berkat, kasih, dan penyertaan-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Analisis Variasi Temperatur dan Katalis pada Proses Pack Carburizing terhadap Kekerasan dan Kelelahan pada Baja ST-41.”

Penulis menyadari bahwa terselesaikannya Skripsi ini tak terlepas dari campur tangan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis menyampaikan ucapan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Bapak Prof. Dr. Ir. Ahmad Alim Bachri, SE., M.Si. selaku Rektor Universitas Lambung Mangkurat.
2. Bapak Prof. Dr. Ir. Iphan Fitrian Radam, S.T., M.T., IPU, selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Lambung Mangkurat.
3. Bapak Dr. Ir. Mahmud S.T., M.T., selaku Wakil Dekan I Bidang Akademik Fakultas Teknik Universitas Lambung Mangkurat. Bapak
4. Ma'ruf, S.T., M.T., selaku Koordinator Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Lambung Mangkurat.
5. Bapak Prof. Dr. Ir. Abdul Ghofur, S.T., M.T., IPM, ASEAN Eng, selaku Dosen Pembimbing dalam penyelesaian Skripsi, yang telah mendorong, membimbing dan memberikan arahan kepada penulis untuk menyelesaikan Skripsi ini.
6. Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada kedua orang tua tercinta (Tagalan & Panatila) serta adik tercinta, Sintia, atas segala doa, kasih sayang, pengorbanan, perhatian, dukungan, dan motivasi yang senantiasa diberikan kepada penulis. Kasih, kesabaran, dan kepercayaan yang telah diberikan menjadi sumber kekuatan dan semangat bagi penulis dalam menghadapi setiap proses penyusunan skripsi ini hingga akhirnya dapat diselesaikan dengan baik.

7. Terima kasih kepada (***Fifin Happy Heriati***) atas cinta, kesabaran, dan doa yang tiada henti. Terima kasih telah menjadi partner terbaik dalam suka maupun duka, dan selalu mengingatkanku untuk tidak lupa bersyukur. Semoga Tuhan membalas semua kebaikanmu dengan berlipat ganda. Skripsi ini adalah bukti bahwa kita bisa saling menguatkan.

Banjarbaru, 31Juli 2026

Mahasiswa



Egryanto Stepanus
2210816210002

RINGKASAN

Baja ST-41 memiliki kekerasan permukaan dan ketahanan lelah yang relatif rendah sehingga memerlukan perlakuan permukaan. Penelitian ini menganalisis pengaruh variasi temperatur dan jenis katalis pada proses *pack carburizing* terhadap kekerasan, ketahanan lelah, dan struktur mikro baja ST41. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kekerasan tertinggi sebesar 275 HV diperoleh pada temperatur 950°C dengan katalis cangkang telur, sedangkan ketahanan lelah tertinggi mencapai 912,966 siklus pada temperatur 950°C. Analisis ANOVA menunjukkan bahwa temperatur, jenis katalis, dan interaksinya berpengaruh signifikan ($p < 0,05$). Hasil SEM-EDS juga menunjukkan terbentuknya lapisan martensit yang lebih homogen setelah proses *pack carburizing*.

Kata kunci: Baja ST-41, *pack carburizing*, kekerasan, ketahanan lelah, struktur mikro (ANOVA).

ABSTRAK

ST-41 steel has relatively low surface hardness and fatigue resistance, requiring surface treatment to improve its mechanical properties. This study analyzed the effects of temperature variation and catalyst type in the pack carburizing process on the hardness, fatigue resistance, and microstructure of ST-41 steel. The results showed that the highest hardness of 275 HV was obtained at 950°C using the eggshell catalyst, while the highest fatigue life reached 912,966 cycles at 950°C. ANOVA confirmed that temperature, catalyst type, and their interaction significantly affected the hardness and fatigue resistance ($p < 0.05$). SEM-EDS analysis also revealed the formation of a more homogeneous martensitic layer after pack carburizing.

Keywords: ST-41 steel, pack carburizing, hardness, fatigue resistance, microstructure (ANOVA).

KATA PENGANTAR

Atas berkat dan kasih karunia Tuhan Yang Maha Kuasa, penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik. Selama proses penyusunan skripsi, penulis menghadapi berbagai kendala dan tantangan. Namun, berkat doa, dukungan, bimbingan, serta bantuan dari berbagai pihak, seluruh proses tersebut dapat dilalui sehingga skripsi ini dapat diselesaikan dengan baik. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis dengan tulus menyampaikan ucapan terima kasih kepada:

1. Ma'ruf, S.T., M.T. selaku Koordinator Program Studi Teknik mesin Universitas Lambung Mangkurat.
2. Kepada bapak Prof. Dr. Ir. Abdul Ghofur, S.T., M.T.,IPM, ASEAN Eng , sebagai pembimbing skripsi
3. Kedua orang tua serta seluruh anggota keluarga yang telah memberikan dorongan yang berupa materi maupun moral.
4. Terima kasih kepada (***Fifin Happy Heriati***) atas cinta, kesabaran, dan doa yang tiada henti. Terima kasih telah menjadi partner terbaik dalam suka maupun duka, dan selalu mengingatkanku untuk tidak lupa bersyukur. Semoga Tuhan membalas semua kebaikanmu dengan berlipat ganda. Skripsi ini adalah bukti bahwa kita bisa saling menguatkan.

DAFTAR ISI

ANALISIS VARIASI TEMPERATUR, DAN KATALIS PADA PROSES PACK
CARBURIZING TERHADAP KEKERASAN DAN KELELAHAN PADA BAJA ST-
41 **ii**

LEMBAR PENGESAHAN	ii
IDENTITAS	iii
HALAMAN KONSULTASI SKRIPSI	iv
ORISINALITAS	vi
PENELITIAN SKRIPSI.....	vi
RIWAYAT HIDUP.....	vii
UCAPAN TERIMAKASIH	viii
RINGKASAN	x
KATA PENGANTAR.....	xi
DAFTAR ISI	xii
DAFTAR GAMBAR.....	xv
DAFTAR TABEL	xvi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Batasan Masalah.....	4
1.5 Manfaat Penelitian.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Penelitian Terdahulu.....	6
2.2 Baja.....	9
2.2.1 Klasifikasi Jenis Baja.....	10
2.3 Baja karbon ST - 41.....	12
2.4 <i>Heat Treatment</i>	15
2.4.1 <i>Hardening</i>	16
2.4.2 <i>Tempering</i>	19
2.4.3 <i>Austempering</i>	20
2.4.4 <i>Annealing</i>	21
2.4.5 <i>Normalizing</i>	23

2.5	Diagram Fasa Besi-Karbon	24
2.7	<i>Holding Time</i>	26
2.8	Diagram TTT (Time, Temperatur, dan Transformator)	27
2.9	<i>Quenching</i>	28
2.9.1	Air Gambut.....	29
2.10	Pack Carburizing	30
2.10.1	Macam-macam proses <i>carburizing</i>	30
2.10.2	Arang Alaban.....	32
2.10.2	Cangkang Telur	32
2.10.3	Cangkang Siput Sawah.....	33
2.11	<i>Cyaniding</i>	34
2.12	Struktur baja	34
2.12.1	<i>Metalography</i>	35
2.13	<i>Rockwell</i>	39
2.14	<i>Fatigue</i> atau Kelelahan.....	41
2.16	Software R	45
2.17	Metode Anova	46
BAB III	METODE PENELITIAN	48
3.1	Waktu dan Tempat.....	48
3.2	Alat dan Bahan	48
3.2.1	Mesin Bubut	48
3.2.2	Mesin <i>Furnace</i>	49
3.2.3	Mesin <i>Rotary Bending Fatigue</i>	50
3.2.4	<i>Portable Hardness Tester</i>	50
3.2.5	Mikroskop Uji Struktur	51
3.2.6	Larutan Nital/Etsa.....	51
3.2.7	Alat Bantu.....	52
3.2.8	Perlengkapan Alat Keselamatan Kerja	52
3.3	Prosedur Penelitian	53
3.3.1	Proses Pembuatan Spesimen	53
3.3.2	Proses Perlakuan Panas	54
3.1.3	Variabel Penelitian	54
3.3.4	Pengamatan Mikrostruktur	55

3.3.5	Uji Kekerasan	55
3.3.6	Uji Kelelahan (<i>Fatigue</i>).....	56
3.3	Analisis Data.....	56
3.4	Diagram Penelitian	59
BAB IV		60
HASIL DAN PEMBAHASAN		60
4.1	Data Hasil Penelitian	60
4.2	Nilai Kekerasan Baja St-41	61
4.2.1	Diagram Batang Nilai Kekerasan	61
4.3	Nilai Kelelahan Baja St-41	63
4.3.1	Perhitungan Tegangan Lentur Baja St-41	63
4.3.2	Data Hasil Perhitungan.....	64
4.3.3	Diagram Batang Nilai Kelelahan.....	65
4.3	Hasil Pengamatan Uji <i>Scanning Electron Microscope</i> (SEM).....	66
4.3.1	Hasil Data Pengujian <i>Scanning Electron Microscope</i> (SEM).....	66
4.3.2	Pembahasan Hasil <i>Scanning Electron Microscopy</i> (SEM).....	67
4.4	Pembahasan	69
4.5	Pembahasan Analisa Statistik (ANOVA).....	73
4.4.1	Analisis Anova Pada Nilai Kekerasan (Hardness)	74
4.4.2	Analisis Anova Pada Nilai Kelelahan (<i>Fatigue</i>)	75
BAB V		77
PENUTUP.....		77
5.1	Penutup	77
5.2	Saran	78
DAFTAR PUSTAKA		79
Lampiran		82

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Kurva perlakuan panas	15
Gambar 2. 2 Grafik Perbandingan Dimensi dan Waktu Pemanasan Benda Kerja.....	18
Gambar 2. 3 Diagram proses Annealing	21
Gambar 2. 4 Diagram Fasa Fe - Fe ₃ C	24
Gambar 2. 5 Diagram TTT	28
Gambar 2. 6 Mekanisme Difusi Interaksi.....	31
Gambar 2. 7 Cangking telur.....	33
Gambar 2. 8 Cangking siput Sawah.....	34
Gambar 2. 9 ferrite.....	37
Gambar 2. 10 Pearlite	38
Gambar 2. 11 <i>Hardness tester</i>	40
Gambar 2. 12 Grafik S/N : (a) Siklus tegangan sempurna bolak-balik, (b) Siklus tegangan berulang dengan $\sigma_{maks} = \sigma_{min}$, dan (c) Siklus tegangan acak	42
Gambar 3. 1 Mesin Bubut.....	49
Gambar 3. 2 Mesin Furnace	49
Gambar 3. 3 <i>Mesin rotary Bending Fatigue</i>	50
<i>Gambar 3. 4 Portable Hardness Tester</i>	51
Gambar 3. 5 Mikroskop Digital.....	51
Gambar 3. 6 Kertas Amplas Dan Autosol	51
Gambar 3. 7 Cairan Nital/Etsa.....	52
Gambar 3. 8 <i>Toolbox</i> Mesin Bubut	52
Gambar 3. 9 Standar Spesimen Uji Kelelahan	53
Gambar 3. 10 Spesimen Uji Kekerasan Dan Struktur Mikro	54

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1Komposisi Kimia Baja St-41.....	14
Tabel 2. 2 Sifat-Sifat Mekanis Baja St-41	14
Tabel 3. 1 Tabel Jumlah Spesimen.....	56
Tabel 3. 2 Kode Spesimen Media Katalis Cangkang Telur	56
Tabel 3. 3 Tabel Kode Spesimen Media Katalis Cangkang Siput.....	57
Tabel 3. 4 Tabel Jadwal penelitian	58