

**PENGARUH VARIASI ARUS LISTRIK TERHADAP STRUKTUR
KRISTAL, KEKERASAN, DAN KUAT TARIK PADA BAJA
KARBON SEDANG DENGAN LAS LASER UNTUK PERBAIKAN
*MOLD***

SKRIPSI

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

Oleh

CHERIE YOLANDA NAINGGOLAN

1851050012



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

2022



PERNYATAAN KEASLIAN KARYA TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Cherie Yolanda Nainggolan
NIM : 1851050012
Institusi/Perguruan : Universitas Kristen Indonesia
Fakultas : Teknik
Program Studi : Teknik Mesin

Dengan ini menyatakan bahwa karya tulis tugas akhir yang berjudul “Pengaruh Variasi Arus Listrik terhadap Struktur Kristal, Kekerasan, dan Kuat Tarik pada Baja Karbon Sedang dengan Las Laser untuk Perbaikan *Mold*” 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 diatas, maka karya tugas akhir ini dianggap batal.

Jakarta, 3 Agustus 2022



Cherie Yolanda Nainggolan



**UNIVERSITAS KRISTEN INDONESIA
FAKULTAS TEKNIK**

PERSETUJUAN DOSEN PEMBIMBING TUGAS AKHIR

**PENGARUH VARIASI ARUS LISTRIK TERHADAP STRUKTUR
KRISTAL, KEKERASAN, DAN KUAT TARIK PADA BAJA KARBON
SEDANG DENGAN LAS LASER UNTUK PERBAIKAN *MOLD***

Oleh:

Nama : Cherie Yolanda Nainggolan
NIM : 1851050012
Program Studi : Teknik Mesin
Peminatan : Material Manufaktur

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, 3 Agustus 2022
Menyetujui:

Pembimbing I

(Ir. Budiarto, M.Sc.)
Ph.D.)

0302115801

Pembimbing II

(Ir. Aryantono Martowidjojo,

0319096603

Ketua Program Studi Teknik Mesin

(Dikky Antonius, S.T., M.Sc.)

0301218801

Dekan

(Ir. Galuh Widati, M.Sc.)

0326126103








UNIVERSITAS KRISTEN INDONESIA
FAKULTAS TEKNIK

PERSETUJUAN PENGUJI TUGAS AKHIR

Pada 3 Agustus 2022 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 : Cherie Yolanda Nainggolan
NIM : 1851050012
Program Studi : Teknik Mesin
Fakultas : Teknik

Termasuk ujian Tugas Akhir yang berjudul “Pengaruh Variasi Arus Listrik terhadap Struktur Kristal, Kekerasan, dan Kuat Tarik pada Baja Karbon Sedang dengan Las Laser untuk Perbaikan *Mold*” oleh tim penguji yang terdiri dari:

Nama Penguji	Jabatan	Tanda Tangan
1. Dicky Antonius, S.T., M.Sc	Sebagai Ketua	
2. Melya Dynasari Sebayang, S.Si., M.T.	Sebagai Anggota	
3. Ir. Priyono Atmadi, M.Sc.	Sebagai Anggota	
4. Ir. Budiarto, M. Sc.	Sebagai Anggota	
5. Ir. Aryantono Martowidjojo, Ph.D.	Sebagai Anggota	

Jakarta, 3 Agustus 2022



UNIVERSITAS KRISTEN INDONESIA

PERNYATAAN DAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Cherie Yolanda Nainggolan
NIM : 1851050012
Fakultas : Fakultas Teknik
Program Studi : Teknik Mesin
Jenis Tugas Akhir : Skripsi
Judul : "Pengaruh Variasi Arus Listrik terhadap Struktur Kristal, Kekerasan, dan Kuat Tarik pada Baja Karbon Sedang dengan Las Laser untuk Perbaikan Mold"

Dengan ini 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 Perundangan-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 3 Agustus 2022
Yang menyatakan



Cherie Yolanda Nainggolan

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa karena atas limpahan rahmat dan karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan tugas akhir dengan baik dan tepat pada waktunya.

Tugas akhir ini merupakan salah satu syarat wajib bagi setiap mahasiswa Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Kristen Indonesia untuk mendapatkan gelar sarjana Strata Satu (S1) di bidang Teknik Mesin.

Berkat bimbingan, nasehat, dan doa yang diberikan oleh berbagai pihak, akhirnya penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik. Oleh karena itu, dengan segala kerendahan hati dan ketulusan, penulis mengucapkan terima kasih sebesar-besarnya kepada:

1. Tuhan Yesus Kristus, karena dengan berkat dan kuasa-Nya memberkati penulis serta memberikan jalan untuk penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
2. Keluarga penulis; orang tua dan adik-adik penulis yang selalu memberikan dukungan baik berupa dukungan moril maupun materiil.
3. Bapak Ir. Budiarto M.Sc., selaku Dosen Pembimbing I Skripsi
4. Bapak Ir. Aryantono Martowidjojo, Ph.D., selaku Dosen Pembimbing II Skripsi
5. Seluruh Dosen Program Teknik Mesin, Universitas Kristen Indonesia atas semua ilmu yang telah diberikan kepada penulis selama perkuliahan.
6. Semua teman-teman angkatan 2018 Teknik Mesin UKI yang telah mendukung dan mendoakan penulis selama proses perkuliahan, terutama dukungan moril yang diberikan kepada penulis selama pengerjaan Tugas Akhir.
7. Teman-teman penulis yang sama-sama mengerjakan Tugas Akhir bersama penulis, Susilawati dan Ika Esterlita Karoline yang telah menemani penulis dari awal hingga akhir penulisan Tugas Akhir ini, berbagi suka dan duka serta mendengarkan keluh kesah penulis hingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan baik.

8. *Last but not least, I wanna thank me, for believing in me, for doing all this hard work, for having no days off, and i wanna thank me for never quitting.*

Penulisan skripsi ini masih memiliki banyak kekurangan yang harus diperbaiki, untuk itu penulis berharap kritik dan saran dari berbagai pihak dan saran dari berbagai pihak demi penyempurnaan skripsi ini. Semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi semua pihak. Akhir kata, penulis mengucapkan terima kasih.

Jakarta, 3 Agustus 2022

Cherie Yolanda Nainggolan



DAFTAR ISI

PERNYATAAN KEASLIAN KARYA TUGAS AKHIR	i
PERSETUJUAN DOSEN PEMBIMBING TUGAS AKHIR	ii
PERSETUJUAN PENGUJI TUGAS AKHIR	iii
UNIVERSITAS KRISTEN INDONESIA	iv
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR	xi
ABSTRAK	i
<i>ABSTRACT</i>	i
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan Penelitian	2
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Manfaat Penelitian	3
1.5 Agenda Penelitian	4
1.6 Sistematika Penulisan	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Las Laser (<i>Laser Welding</i>)	6
2.2 Jenis-Jenis Laser untuk Pengelasan	6
2.3 Keuntungan dan Kerugian Las Laser	9
2.3.1 Keuntungan	9
2.3.2 Kerugian	10
2.4 Baja Karbon Sedang	11
2.4.1 Baja M300	12

2.5 <i>Post Weld Heat Treatment (PWHT)</i>	13
2.5.1 <i>Tempering</i>	14
2.6 Metode Difraktometer X-Ray (XRD)	15
2.7 Pengujian Kekerasan (<i>Hardness Test</i>)	17
2.7.1 Uji Kekerasan Brinell	18
2.8 Pengujian Tarik (<i>Tensile Test</i>)	19
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	22
3.1 Diagram Alir Penelitian	22
3.2 Peralatan dan Bahan Penelitian	23
3.3 Mesin Las Laser Lengkap	23
3.3.1. Komponen-Komponen Utama	24
3.3.2. Bagian <i>Control Panel</i> pada Mesin	25
3.3 Kawat SKD 61	27
3.4 Prosedur Pembuatan Spesimen Uji	27
3.4.1 Proses Mengelas Benda Kerja	27
3.4.2 Proses PWHT- <i>Tempering</i>	28
3.5 Pengujian Spesimen	29
3.5.1 Uji Struktur Kristal	29
3.5.2 Pengujian Kekerasan dan Kuat Tarik	31
3.6 Waktu dan Tempat Penelitian	33
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	34
4.1 Ukuran Kristal, Regangan Kisi, dan Kerapatan Dislokasi	34
4.2 Nilai Kekerasan Baja M300 dengan Skala Brinell (HB)	39
4.2.1 Nilai Kekerasan setelah Pengelasan (Tidak Melalui Proses PWHT)	42
4.2.2. Nilai Kekerasan setelah Proses PWHT- <i>Tempering</i>	43
4.3 Nilai Kuat Tarik (<i>Tensile Strength</i>) Baja M300	44
4.3.1. Nilai Kuat Tarik setelah Pengelasan (Tidak Melalui Proses PWHT)	47

4.3.2. Nilai Kuat Tarik setelah Proses PWHT- <i>Tempering</i>	48
BAB V KESIMPULAN	49
5.1 Kesimpulan.....	49
5.2 Saran	50
DAFTAR PUSTAKA	51
LAMPIRAN.....	



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Tipe dan Karakteristik Laser untuk Pengelasan	8
Tabel 2.2 Komposisi Kimia Baja M300	13
Tabel 2.3 Sifat Mekanik Baja M300	13
Tabel 4.1 Struktur Kristal pada Spesimen dengan Kuat Arus Pengelasan 60 A.....	35
Tabel 4.2 Struktur Kristal pada Spesimen dengan Kuat Arus Pengelasan 70 A.....	35
Tabel 4.3 Struktur Kristal Spesimen dengan Kuat Arus Pengelasan 80 A	36
Tabel 4.4 Struktur Kristal Spesimen pada Matriks	36
Tabel 4.5 Data Perhitungan Struktur Kristal.....	36
Tabel 4.6 Data Hasil Uji Kekerasan Skala Brinell setelah Pengelasan (Non PWHT) 39	
Tabel 4.7 Data Hasil Uji Kekerasan Skala Brinell setelah Proses PWHT-Tempering40	
Tabel 4.8 Data Hasil Uji Tarik setelah Pengelasan (Non-PWHT).....	44
Tabel 4.9 Data Hasil Uji Tarik setelah proses PWHT-Tempering	44

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Skema Sistem Las Laser CO ₂	7
Gambar 2. 2 Skema Las Laser Nd:YAG	8
Gambar 2.6 Diagram Skematik Difraktometer Sinar-X	16
Gambar 2.7 Pola Difraksi pada Timah Bubuk	17
Gambar 2.3 Daerah Terkena Panas	19
Gambar 2.4 Gambaran Pengujian Tarik	20
Gambar 2.5 Grafik Hasil Uji Kuat Tarik	21
Gambar 3.1 Material Benda Kerja	23
Gambar 3.2 Komponen Utama Las Laser	24
Gambar 3.3 Panel Kontrol Las Laser	25
Gambar 3.4 Hasil Las Laser pada Baja M300 dan Kawat Filler SKD 61 dengan Variasi Arus Pengelasan 60, 70, dan 80 A.....	26
Gambar 3.5 Oven Pemanas (Dokumen Pribadi).....	29
Gambar 3.7 Alat XRD (X-ray Diffraction)	30
Gambar 3.6 Alat Uji Kekerasan Brinell	32
Gambar 4.1 Difraktogram Baja Karbon Sedang M300 dan kawat las SKD 61, dengan Variasi Arus Listrik 60 A, 70 A, 80 A, dan Matriks.....	34
Gambar 4.2 Grafik Hubungan Variasi Arus Listrik terhadap Ukuran Kristal Baja Karbon Sedang M300	37
Gambar 4.3 Grafik Hubungan Variasi Arus Listrik terhadap Regangan Kisi Baja Karbon Sedang M300	38
Gambar 4.4 Grafik Hubungan Variasi Arus Listrik terhadap Kerapatan Dislokasi Baja Karbon Sedang M300	38
Gambar 4.5 Grafik Hubungan Variasi Kuat Arus terhadap Kekerasan Baja Karbon Sedang M300 setelah Pengelasan (Non-PWHT).....	40
Gambar 4.6 Grafik Hubungan Variasi Kuat Arus terhadap Kekerasan Baja Karbon Sedang M300 setelah PWHT-Tempering	41
Gambar 4.7 Perbandingan Nilai Kekerasan Non-PWHT dan PWHT-Tempering	41
Gambar 4.8 Grafik Hubungan Variasi Kuat Arus terhadap Nilai Kuat Tarik Baja Karbon Sedang M300 setelah Pengelasan (Non-PWHT).....	45
Gambar 4.9 Grafik Hubungan Variasi Kuat Arus terhadap Nilai Kuat Tarik Baja Karbon Sedang M300 setelah proses PWHT-Tempering.....	46
Gambar 4.10 Perbandingan Nilai Kuat Tarik Non-PWHT dan PWHT-Tempering...	46

LAMPIRAN



ABSTRAK

Pengaruh pengujian variasi arus listrik pengelasan laser pada baja karbon sedang terhadap kekerasan, kuat tarik, dan struktur kristal telah dilakukan. Baja M300 merupakan baja bahan dasar pembuatan *mold*. Las laser sering digunakan sebagai upaya perbaikan kerusakan pada *mold*. Baja M300 dilas menggunakan las laser dengan variasi arus listrik 60,70, dan 80 A, lalu spesimen uji kekerasan dan uji tarik diterapkan proses PWHT-*Tempering* untuk membandingkan nilai kekerasan dan kuat tarik antara spesimen yang mendapat perlakuan PWHT-*Tempering* dan yang tidak mendapat perlakuan PWHT. Uji struktur kristal menggunakan metode XRD meliputi ukuran kristal, regangan kisi, dan kerapatan dislokasi. Ukuran kristal terbesar terdapat pada spesimen dengan kuat arus pengelasan 80 A, yaitu sebesar 12.8428 MPa, sedangkan ukuran kristal terkecil terdapat pada matriks, yaitu sebesar 8.7155 nm. Regangan kisi tertinggi terdapat pada spesimen dengan kuat arus pengelasan 60 A, yaitu sebesar 2.6841 %, sedangkan regangan kisi terendah terdapat pada spesimen dengan kuat arus pengelasan 80 A, yaitu sebesar 0.0210 %. Kerapatan dislokasi terbesar terdapat pada matriks, yaitu sebesar 0.0675 garis/mm², sedangkan kerapatan dislokasi terkecil terdapat pada spesimen dengan kuat arus pengelasan 70 A, yaitu sebesar 0.0173 garis/mm². Uji kekerasan skala Brinell menunjukkan kekerasan tertinggi terdapat pada spesimen dengan kuat arus pengelasan 80 A, tanpa perlakuan PWHT, di daerah pusat las dengan nilai kekerasan sebesar 388 HB, sedangkan nilai kekerasan terendah terdapat pada spesimen dengan kuat arus pengelasan 60 A, dengan perlakuan PWHT-*Tempering*, di daerah induk *metal* dengan nilai kekerasan sebesar 275.95 HB. Uji kuat tarik menunjukkan nilai kuat tarik tertinggi terdapat pada spesimen dengan kuat arus pengelasan 80 A, tanpa perlakuan PWHT, di daerah pusat las dengan nilai kuat tarik sebesar 1340.187 MPa, sedangkan nilai kuat tarik terendah terdapat pada spesimen dengan kuat arus pengelasan 60 A, dengan perlakuan PWHT-*Tempering*, di daerah induk *metal* dengan nilai kuat tarik sebesar 952.028 MPa.

Kata kunci: Las laser, Baja Karbon Sengah M300, PWHT-*Tempering*, Kekerasan, Kuat tarik, Struktur kristal.

ABSTRACT

The variation of laser welding electric current effect on medium carbon steel on hardness, tensile strength, and the crystal structure has been tested. M300 is the primary material for making molds. Laser welding is often used as an effort to repair damage to the mold. M300 steel is welded using laser welding with variations in electric current of 60, 70, and 80 A. Then, the hardness and tensile specimens were applied to the PWHT-Tempering to compare the values of hardness and tensile strength between the specimens that were applied to PWHT-Tempering and those that did not. The Brinell scale hardness test showed that the highest hardness was found in specimens with a welding current of 80 A, without PWHT, in the weld zone with a hardness value of 388 HB, while the lowest hardness values were found in specimens with a welding current of 60 A, that applied to PWHT-Tempering, in the base metal zone with a hardness value of 275.95 HB. The tensile strength test showed that the highest tensile strength value was found in the specimen with a welding current of 80 A, without PWHT, in the weld zone with a tensile strength value of 1340.187 MPa, while the lowest tensile strength value was found in a specimen with a welding current of 60 A, that applied to PWHT-Tempering, in the base metal zone with a tensile strength value of 952,028 MPa. Crystal structure test using the XRD method includes crystal size, lattice strain, and dislocation density. The largest crystal size was found in the specimen with a welding current of 80 A, 12.8428 MPa, while the smallest crystal size was found in the matrix, which is 8.7155 nm. The highest lattice strain was found in specimens with a welding current of 60 A, which is 2.6841 %, while the lowest lattice strain was found in specimens with a welding current of 80 A, which is 0.021 %. The largest dislocation density was found in the matrix, which is 0.0675 lines/mm², while the smallest dislocation density was found in specimens with a welding current of 70 A, which is 0.0173 lines/mm².

Keywords: *Laser Welding, M300 Medium Carbon Steel, PWHT-Tempering, Hardness, Tensile Strength, Crystal Structure.*