

TUGAS AKHIR
STUDI PERBANDINGAN MEDIA QUENCHING PADA BAJA
KARBON SEDANG AISI 1045 DAN BAJA KARBON RENDAH
SS400 HASIL PENGELASAN GMAW TERHADAP
SIFAT MEKANIK

*Diajukan Untuk Memenuhi Syarat Memperoleh
Gelar Sarjana Teknik Mesin Pada Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara*

Disusun Oleh :

SOPYAN MANGALOKSA HUTABARAT
2307230189 P



UMSU

Unggul | Cerdas | Terpercaya

PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
MEDAN
2025

HALAMAN PENGESAHAN

Proposal penelitian tugas akhir ini diajukan oleh :

Nama : Sopyan Mangaloksa Hutabarat
NPM : 2307230189 P
Program Studi : Teknik Mesin
Judul Tugas Akhir : Studi Perbandingan Media *Quenching* Pada Baja Karbon Sedang AISI 1045 dan Baja Karbon Rendah SS400 Hasil Pengelasan GMAW Terhadap Sifat Mekanik
Bidang ilmu : Kontruksi Manufaktur

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Tim Penguji dan diterima sebagai salah satu syarat yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, 01 September 2025

Mengetahui dan menyetujui :

Dosen Penguji I

(H. Muharnif M, S.T., M.Sc.)

Dosen Penguji II

(Chandra A. Siregar, S.T., M.T.)

Dosen Penguji III

(Dr. Sudirman Lubis, S.T., M.T.)

Ketua Program Studi
Teknik Mesin

(Chandra A. Siregar, S.T., M.T.)

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan dibawah ini.

Nama : Sopyan Mangaloksa Hutabarat
Tempat, Tanggal Lahir : Parhitean, 29 Oktober 1999
NPM : 2307230189P
Fakultas : Teknik
Program Studi : Teknik Mesin

Menyatakan dengan sesungguhnya dan sejujurnya, bahwa laporan tugas akhir saya yang berjudul:

“STUDI PERBANDINGAN MEDIA *QUENCHING* PADA BAJA KARBON SEDANG AISI 1045 DAN BAJA KARBON RENDAH SS400 HASIL PENGELASAN GMAW TERHADAP SIFAT MEKANIK”.

Bukan merupakan plagiarisme, pencurian hasil karya milik orang lain atau hasil kerja orang lain untuk kepentingan saya pribadi, karena hubungan material dan non-material ataupun segala kemungkinan lain, yang hakekatnya bukan merupakan karya tulis saya secara orisinal dan otentik.

Bila kemudian hari diduga kuat ada ketidaksesuaian antara fakta dengan kenyataan ini, saya bersedia diproses oleh tim fakultas yang dibentuk untuk melakukan verifikasi dengan sanksi terberat berupa pembatalan kelulusan kesarjanaan saya.

Dengan demikian pernyataan ini saya buat dengan kesadaran sendiri dan tidak atas tekanan atau paksaan dari pihak manapun demi menegakkan integritas akademik pada Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, 01 September 2025

Saya Yang Menyatakan



Sopyan Mangaloksa Hutabarat

ABSTRAK

Pengelasan adalah proses penyambungan logam melalui ikatan metalurgi dalam kondisi cair. Metode ini memanaskan dua atau lebih bagian logam hingga menyatu. Pengelasan yang umum digunakan dalam industri manufaktur adalah *Gas Metal Arc Welding (GMAW)*. Metode ini dipilih karena kepraktisannya, efisiensi, serta kemampuannya untuk diterapkan dalam berbagai posisi pengelasan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh media quenching berbeda air, udara, dan oli terhadap sifat mekanik dan kekerasan baja AISI 1045 dan SS400. Pengujian sifat mekanik meliputi kuat tarik maksimum (*Ultimate Tensile Strength*), kuat luluh (*Yield Strength*), dan elongasi sedangkan pengujian kekerasan dilakukan pada tiga zona: *base metal*, *heat affected zone (HAZ)*, dan *weld area*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa media air menghasilkan kuat tarik maksimum tertinggi 731,61 N/mm² namun dengan elongasi terendah 14,45%, menunjukkan sifat getas dengan risiko retak tinggi akibat dominasi struktur martensit. Media udara menghasilkan elongasi tertinggi 27,82% namun kuat tarik terendah 470,98 N/mm², dengan struktur ferrit-pearlit yang lebih ulet. Media oli memberikan sifat mekanik seimbang dengan kuat luluh tertinggi 700,66 N/mm² dan elongasi cukup baik 20,64% akibat pembentukan martensit dan bainit. Pada pengujian kekerasan menunjukkan bahwa pada baja AISI 1045 nilai tertinggi pada *base metal* diperoleh dari media oli 242,8 VHN, sedangkan HAZ dan *weld area* tertinggi oleh air 254,45 VHN dan 234,8 VHN. Pada baja SS400 kekerasan tertinggi pada *base metal* dihasilkan oleh oli 240,95 VHN, sedangkan pada HAZ tertinggi oleh air 249,15 VHN. Media udara secara konsisten menghasilkan kekerasan terendah di hampir semua zona. Oleh karena itu, pemilihan media quenching sebaiknya disesuaikan dengan kebutuhan aplikasi, di mana oli direkomendasikan untuk memperoleh sifat mekanik yang optimal tanpa meningkatkan risiko cacat struktural.

Kata kunci: *Quenching*, Sifat Mekanik, AISI 1045, SS400, Media Pendingin.

ABSTRACT

Welding is the process of joining metals through metallurgical bonding in a molten state, in which two or more metal parts are heated until they fuse together. One of the commonly used welding methods in the manufacturing industry is Gas Metal Arc Welding (GMAW) due to its practicality, efficiency, and applicability in various welding positions. This study aims to analyze the effect of different quenching media water, air, and oil on the mechanical properties and hardness of AISI 1045 and SS400 steels. The mechanical property tests include ultimate tensile strength (UTS), yield strength (YS), and elongation, while hardness testing was conducted in three zones: base metal, heat affected zone (HAZ), and weld area. The results showed that water quenching produced the highest ultimate tensile strength of 731.61 N/mm² but with the lowest elongation of 14.45%, indicating a brittle behavior with a high risk of cracking due to the dominance of martensitic structure. Air quenching produced the highest elongation of 27.82% but the lowest ultimate tensile strength of 470.98 N/mm², with a more ductile ferrite-pearlite structure. Oil quenching provided balanced mechanical properties with the highest yield strength of 700.66 N/mm² and a relatively good elongation of 20.64%, attributed to the formation of martensite and bainite. In hardness testing, for AISI 1045 steel, the highest value in the base metal was obtained from oil 242.8 VHN, while the highest HAZ and weld area hardness values were produced by water 254.45 VHN and 234.8 VHN, respectively. For SS400 steel the highest base metal hardness was obtained from oil 240.95 VHN, while the highest HAZ hardness was obtained from water 249.15 VHN. Air consistently produced the lowest hardness in almost all zones. It can be concluded that the selection of quenching media should be adjusted to the application requirements. Oil quenching is recommended to obtain optimal mechanical properties without increasing the risk of structural defects.

Keywords: Quenching, Mechanical Properties, AISI 1045, SS400, Cooling media.

KATA PENGANTAR

Dengan nama Allah Yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang. Segala puji dan syukur penulis ucapkan kehadiran Allah SWT yang telah memberikan karunia dan nikmat yang tiada terkira. Salah satu dari nikmat tersebut adalah keberhasilan penulis dalam menyelesaikan laporan penelitian ini dengan judul: “Studi Perbandingan Media *Quenching* Pada Baja Karbon Sedang AISI 1045 dan Baja Karbon Rendah SS400 Hasil Pengelasan GMAW Terhadap Sifat Mekanik”.

Banyak pihak telah membantu dalam menyelesaikan Proposal Tugas Akhir ini, untuk itu penulis menghaturkan rasa terimakasih yang tulus dan dalam kepada :

1. Bapak Dr. Sudirman Lubis, S.T.,M.T. selaku dosen pembimbing yang telah banyak membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
2. Bapak Chandra A. Siregar, S.T.,M.T. selaku Ketua Program Studi Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
3. Bapak Ahmad Marabdi Siregar, S.T.,M.T. selaku Sekertaris Program Studi Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
4. Bapak Dr. Munawar Alfansury Siregar, S.T.,M.T. selaku Dekan Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
5. Seluruh bapak/ibu Dosen di Program Studi Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah memberikan ilmunya kepada penulis.
6. Seluruh keluarga besar penulis, terutama orang tua penulis, terimakasih buat doa dan dukungannya selalu baik berupa materi dan semangat.
7. Teman-teman seperjuangan Program Studi Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara. Semoga ilmu yang didapat selama perkuliahan bisa diaplikasikan di dunia kerja.
8. Semua pihak yang telah membantu penulis dalam Menyusun laporan Tugas Akhir ini.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan skripsi ini belum sempurna. Oleh karena itu, dengan segala kerendahan hati penulis menerima kritik dan saran yang berguna dan membangun untuk kelengkapan laporan skripsi ini. Semoga skripsi ini

dapat bermanfaat khususnya bagi penulis dan bagi pembaca demi kemajuan perkembangan ilmu pendidikan di masa yang akan datang. Amin Yaa Rabbal Alamin. Wassalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.

Medan, 01 September 2025

Penulis,



Sopyan Mangaloksa Hutabarat

NPM : 2307230189 P

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	ii
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR	iii
ABSTRAK	iv
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR NOTASI	xii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Ruang Lingkup	4
1.4 Tujuan Penelitian	5
1.5 Manfaat Penelitian	5
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Pengertian Pengelasan	6
2.2 Las GMAW (<i>Gas Metal Arc Welding</i>)	6
2.2.1 Las GMAW (<i>Gas Metal Arc Welding</i>)	6
2.2.2 Proses Mesin Las GMAW (<i>Gas Metal Arc Welding</i>)	7
2.2.3 Jenis – jenis Gas Pelindung	11
2.3 Jenis Elektroda Pengelasan	12
2.4 Kampuh V	13
2.5 Baja Karbon	14
2.6 Baja AISI 1045	15
2.7 <i>Baja Stainless Steel 400</i>	16
2.8 <i>Quenching</i>	17
2.8.1 Media Pendingin	22
2.9 Pengujian	23
2.9.1 Pengujian Tarik	23
2.9.2 Pengujian Kekerasan	25
BAB 3 METODE PENELITIAN	30
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	30
3.2 Alat dan Bahan	30
3.2.1 Alat Penelitian	30
3.2.2 Bahan Penelitian	34
3.3 Bagan Alir penelitian	37
3.4 Rancangan Alat Penelitian	39
3.5 Prosedur Penelitian	40
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	40
4.1 Pengujian Kekuatan Mekanik Material	42
4.2 Pengujian Tarik	42
4.2.1 Hasil Pengujian Tarik	42
4.3 Hasil Pengujian Kekerasan (<i>Vickers Hardness Test</i>)	46

BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	49
5.1 Kesimpulan	49
5.2 Saran	49
DAFTAR PUSTAKA	50
Lampiran 1. Proses Pengelasan	
Lampiran 2. Proses <i>Quenching</i> setelah pengelasan	
Lampiran 3. Pembuatan Sampel Uji Tarik	
Lampiran 4. Pembuatan Sampel Uji <i>Vickers</i>	
Lampiran 5. Pengujian Tarik dan <i>Micro Vickers</i>	
Lampiran 6. Sampel Hasil Pengujian Tarik	
Lampiran 7. Tabel Hasil Pengujian Tarik	
Lampiran 8. Tabel Hasil Pengujian <i>Micro Vickers</i>	
Lampiran 9. Sampel Hasil Pengujian <i>Micro Vickers</i>	
Lampiran 10. Lembar Asistensi	
Lampiran 11. SK Pembimbing	
Lampiran 12. Berita Acara Seminar Hasil Penelitian	
Lampiran 13. Daftar Riwayat Hidup	

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Komposisi Kimia Baja AISI 1045	16
Tabel 2. 2 Komposisi Kimia Baja SS400	16
Tabel 2. 3 Macam-macam Baja SS Standar JIS G 3101	17
Tabel 3. 1 Kegiatan Penelitian	30
Tabel 3. 2 Komposisi Kimia Kawat Las ER70S-6	36
Tabel 3. 3 Mechanical Physical Properties ER70S-6	36
Tabel 4. 1 Hasil Pengujian Tarik	43
Tabel 4. 2 Hasil Pengujian Kekerasan	47

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Las GMAW	7
Gambar 2. 2 Proses pengelasan GMAW	8
Gambar 2. 3 Alur Sambungan	9
Gambar 2. 4 Isothermal Tranformation Diagram	18
Gambar 2. 5 Continuos Cooling Transformation Diagram	19
Gambar 2. 6 Grafik tegangan regangan	24
Gambar 2. 7 Dimensi Spesimen Uji tarik	25
Gambar 2. 8 Bentuk Indentor Vickres	28
Gambar 2. 9 Pengujian Dengan Vickers	28
Gambar 2. 10 Ukuran Spesimen Uji Kekerasan	29
Gambar 3. 1 Mesin Las GMAW	31
Gambar 3. 2 Tang Amphere	31
Gambar 3. 3 Gas Argon mix	32
Gambar 3. 4 Gerinda Tangan	32
Gambar 3. 5 Busur Derajat	33
Gambar 3. 6 Meteran	33
Gambar 3. 7 Alat Pelindung Diri	34
Gambar 3. 8 a) Plat <i>SS400</i> dan b) <i>AISI 1045</i>	34
Gambar 3. 9 Bentuk Sampel Tampak Atas	35
Gambar 3. 10 Bentuk Sampel Tampak Depan	35
Gambar 3. 11 Bagan Alir Penelitian	37
Gambar 3. 12 Mesin <i>UTM (Universal Testing Machine)</i>	39
Gambar 3. 13 Mesin Uji <i>Vickers FM800</i>	39
Gambar 4. 1 Grafik Rata-Rata Pengujian Tarik	44
Gambar 4. 2 Hasil Pengujian Tarik	46
Gambar 4. 3 Titik Pengujian Kekerasan	46
Gambar 4. 4 Spesimen Uji Kekerasan	46
Gambar 4. 5 Hasil Pengujian Kekerasan	48

DAFTAR NOTASI

Gravitasi = $9,81 \text{ (m/s}^2\text{)}$

F_y = Gaya luluh (N)

F_u = Gaya maks (N)

σ_y = Tegangan luluh (N/mm^2)

σ_u = Tegangan tarik (N/mm^2)

ε = Regangan (%)

F = Beban maksimum (N)

A = Luas penampang awal benda uji (mm^2)

$\Delta L = L - L_0$

L = Panjang akhir (mm)

L_0 = Panjang awal (mm)

P : Beban yang ditetapkan (Kgf)

d : Panjang diagonal rata – rata (mm)

α : Sudut antara permukaan intan yang berhadapan (136°)

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pengelasan adalah proses penyambungan logam melalui ikatan metalurgi dalam kondisi cair. Metode ini memanaskan dua atau lebih bagian logam hingga menyatu. Seiring kemajuan teknologi, kebutuhan dan teknik pengelasan terus berkembang (Pratiwi & Wibowo, 2019).

Pengelasan yang umum digunakan dalam industri manufaktur adalah *Gas Metal Arc Welding (GMAW)*. Metode ini dipilih karena kepraktisannya, efisiensi, serta kemampuannya untuk diterapkan dalam berbagai posisi pengelasan. Dibandingkan dengan *Shielded Metal Arc Welding (SMAW)* yang lebih lambat menghasilkan banyak slag dan sangat bergantung pada keterampilan operator GMAW lebih unggul untuk produksi massal. Sementara *Tungsten Inert Gas (TIG)* memang menghasilkan kualitas sambungan yang sangat presisi dan bersih namun prosesnya lambat, mahal, serta membutuhkan operator berpengalaman (Gonz et al., 2023).

Kualitas hasil las dipengaruhi oleh beberapa faktor, termasuk kecepatan pengelasan, jenis kampuh, posisi pengelasan, serta jenis dan diameter elektroda yang digunakan (Nova et al., 2024; Setiawan & Rosidah, 2023; Suheni et al., 2021).

Pemilihan jenis sambungan las atau kampuh merupakan faktor fundamental dalam menentukan efisiensi proses pengelasan yang secara langsung memengaruhi integritas mekanis serta kualitas hasil las. Kampuh las merupakan bagian dari logam induk yang telah dipersiapkan untuk diisi oleh logam las (*weld metal*), sehingga berfungsi dalam meningkatkan kekuatan serta ketahanan sambungan terhadap beban mekanis. Selain itu, konfigurasi kampuh las yang tepat berperan signifikan dalam mengoptimalkan desain sambungan, meningkatkan sifat mekanis, serta meminimalkan potensi cacat las, sehingga mendukung keberlanjutan dan keandalan struktur yang dihasilkan (Siddiq et al., 2019).

Pengelasan *dissimilar* merupakan proses penyambungan dua jenis logam yang berbeda, yang memiliki tantangan teknis lebih kompleks dibandingkan dengan pengelasan logam sejenis. Kompleksitas ini disebabkan oleh perbedaan

sifat fisik, mekanik, dan metalurgi antara kedua logam yang disambungkan, sehingga dapat mempengaruhi kompatibilitas material, kualitas sambungan, serta kestabilan hasil las. Oleh karena itu, dalam pengelasan dissimilar, diperlukan pemilihan metode, material pengisi, serta parameter pengelasan yang tepat guna memastikan integritas dan performa sambungan yang optimal (Siddiq et al., 2019).

Salah satu kelemahan utama dalam pengelasan dissimilar adalah terjadinya lonjakan tegangan yang signifikan akibat perubahan struktur mikro di zona las, yang dapat menyebabkan penurunan kekuatan material. Selain itu, keberadaan tegangan sisa dalam material berpotensi memicu terbentuknya cacat serta retak pada hasil las. Faktor-faktor ini secara keseluruhan dapat memengaruhi keandalan serta ketahanan sambungan terhadap beban mekanis dan lingkungan operasional (Saputro & Drastiawati, 2023).

Baja AISI 1045 merupakan baja karbon sedang dengan kandungan karbon berkisar antara 0,43–0,50%. Baja ini banyak digunakan dalam pembuatan komponen yang mengalami gesekan dan tekanan tinggi seperti roda gigi pada kendaraan bermotor, karena memiliki ketahanan aus dan kekerasan yang baik. Sedangkan *Stainless Steel* 400 mempunyai komposisi kandungan kadar besi (Fe)=72,6%, khrom (Cr)= 17,6%, mangan (Mn)=10,0% dan nikel (Ni)=4,01% (Surakarta, 2012).

Quenching adalah proses perlakuan panas dimana prosesnya dilakukan dengan pendinginan yang relatif cepat dengan mencelupkan material pada media pendingin dan dibiarkan sampai dingin dari temperatur *austenisasi* pada baja. Keberhasilan proses *quenching* ditentukan oleh media *quenching* (*quenchant medium*) yang digunakan. Untuk menentukan media *quenching*, sangat bergantung pada mampu keras (*hardenability*) dari logam, ketebalan dan bentuk dari benda uji yang akan *quenching*. Serta struktur mikro yang diinginkan dari hasil proses *quenching*. Adapun media *quenching* yang sering digunakan adalah media cair (*liquid*) dan gas. Media *quenching* cair adalah oli, air, larutan polimer (*aquos polymer solution*), larutan garam. Sedangkan media *quenching* gas adalah helium, argon, dan nitrogen. Penelitian ini akan menggunakan media pendinginan langsung yaitu air dan oli.

Oli memberi pendinginan yang lambat, oli ini sering digunakan di industri. Oli memiliki nilai viskositas atau kekentalan yang tertinggi dibandingkan dengan media pendingin lainnya dan massa jenis yang rendah sehingga laju pendinginannya lambat. Untuk pendinginan yang kita pakai pada penelitian ini yaitu oli bekas pada kendaraan sepeda motor. Oli bekas itu adalah oli yang sudah terpakai, meliputi bekas pemakaian dari mesin pabrik, mesin kendaraan bermotor roda dua atau roda empat, mesin kapal, mesin diesel, dan mesin mesin yang lainnya (Anonim, 2014).

Air adalah suatu zat cair yang tidak mempunyai rasa, bau dan warna dan terdiri dari hidrogen dan oksigen dengan rumus kimia H_2O . Karena air mempunyai sifat yang hampir bisa digunakan untuk apa saja serta mudah didapat dan juga ketersediaannya masih banyak. Air memiliki massa jenis yang besar daripada air garam, kekentalannya rendah sama dengan air garam. Laju pendinginan air lebih lambat dari pada air garam. Dalam penelitian ini air yang akan digunakan dalam proses pendinginannya yaitu air kran atau air tanah.

Bramantiyo et al (Saputro & Drastiawati, 2023) dengan judul penelitian “pengaruh variasi media pendingin pada proses pengelasan SMAW untuk material baja ASTM A36 terhadap kuat tarik, kekerasan, dan struktur mikro” melaporkan bahwa media pendingin getah pohon pisang menghasilkan nilai kekerasan tertinggi di daerah las, yang dikaitkan dengan laju pendinginan yang lebih cepat.

Nugraha et al (Nugraha et al., 2020) dengan judul penelitian “pengaruh media pendingin pengelasan dissimilar baja AISI 1045 dengan SS202 menggunakan pengelasan SMAW” melaporkan bahwa media pendingin oli menghasilkan kekerasan lebih tinggi dibandingkan air garam. Selain itu, uji tarik menunjukkan tegangan tarik lebih tinggi spesimen yang didinginkan dengan oli dibandingkan dengan air.

Sultoni et al (Maghfiroh et al., 2019) dengan judul penelitian “analisa pengaruh variasi media pendingin air dan oli pada sambungan lap joint terhadap sifat mekanik menggunakan las SMAW (DC)” melaporkan bahwa media pendingin mempengaruhi kekuatan tarik dan kekerasan pada baja SS400, dengan memvariasikan media pendingin memberikan hasil yang berbeda pula.

Salah satu faktor krusial yang memengaruhi kualitas sambungan las pada pengelasan *dissimilar* adalah perlakuan pasca-pengelasan, khususnya proses pendinginan atau *quenching*. Pemilihan media *quenching* berperan signifikan dalam menentukan karakteristik mikrostruktur dan sifat mekanis daerah las, termasuk distribusi kekerasan, ketangguhan, serta ketahanan terhadap retak akibat tegangan sisa. Variasi media pendinginan dapat menyebabkan perubahan transformasi fasa yang pada gilirannya memengaruhi homogenitas dan integritas sambungan. Oleh karena itu, studi mengenai pengaruh variasi media *quenching* pada pengelasan *dissimilar* antara AISI 1045 dan SS400 menjadi esensial dalam upaya meningkatkan kualitas sambungan, mengoptimalkan performa mekanis, serta meminimalkan potensi kegagalan struktural pada aplikasi industri.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan adanya latar belakang diatas, maka perlu dilakukan penelitian mengenai :

1. Bagaimana baja AISI 1045 merupakan baja karbon sedang sedangkan SS400 adalah baja karbon rendah. Perbedaan komposisi kimia ini mempengaruhi perilaku keduanya saat dilas terutama dalam hal sifat mekanik dan struktur mikro?
2. Bagaimana media *quenching* yang berbeda air, oli, dan udara akan menghasilkan laju pendinginan yang berbeda yang sangat mempengaruhi hasil akhir struktur mikro dan kekerasan material setelah pengelasan?

1.3 Ruang Lingkup

Penelitian ini memiliki beberapa Ruang Lingkup yaitu :

1. Spesimen menggunakan material baja karbon rendah SS400 dan baja karbon menengah AISI 1045 dengan ketebalan 8 mm.
2. Pengelasan yang digunakan yaitu pengelasan *GMAW* (*Gas Metal Arc Welding*) dengan arus DC.
3. Kuat arus yang digunakan 130A.
4. Elektroda yang digunakan AWS ER70S-6 dengan diameter 1,2 mm.
5. Gas pelindung yang digunakan adalah gas argon 70% dan CO₂ 30%.

6. Jenis kampuh single V dengan sudut 60° .
7. Menggunakan posisi pengelasan bawah tangan (1G).
8. Uji kekuatan tarik menggunakan standar ASTM E8
9. Uji kekerasan menggunakan mikro vickers dengan standar ASTM E92.
10. Metode quenching dengan oli, air, dan udara.

1.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini yaitu :

1. Mengetahui perubahan tegangan tarik sambungan las akibat variasi media pendingin pasca pengelasan.
2. Menganalisis pengaruh media pendingin terhadap distribusi kekerasan pada daerah las, daerah terpengaruh panas (HAZ), dan logam induk.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian sebagai peran nyata dalam pengembangan ilmu pengetahuan khususnya teknik penyambungan material, maka penulis berharap dapat mengambil manfaat dari penelitian ini :

1. Sebagai sarana untuk menerapkan ilmu selama perkuliahan.
2. Mengetahui media pendingin yang baik pada jenis pengelasan GMAW.
3. Mengetahui pengaruh media pendingin terhadap ketangguhan.
4. Mendapat informasi yang tepat terhadap berbagai pengujian bahan, pengelasan dan bahan teknik.
5. Menambah pengalaman dan memperkaya ilmu pengetahuan tentang pengembangan teknologi tepat guna.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengertian Pengelasan

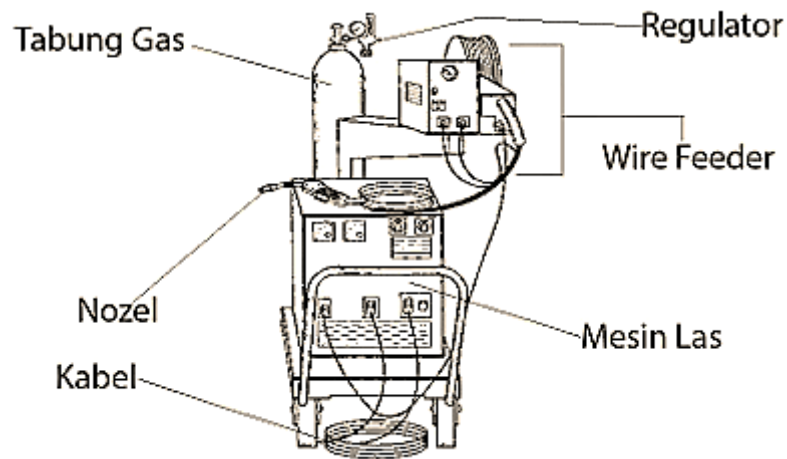
Pengelasan adalah proses penyambungan antrara dua bagian logam atau lebih dengan menggunakan energi panas, maka logam yang disekitar daerah las mengalami perubahan struktur metalurgi, deformasi dan tegangan termal. Untuk mengurangi pengaruh tersebut, maka dalam proses pengelasan perlu diperhatikan metode dan prosedur pengelasan yang benar dan tepat, termasuk pemilihan bahan pengisi (*filler*) yang digunakan (Khan, 2007).

Luasnya penggunaan proses penyambungan dengan pengelasan disebabkan oleh biaya murah, pelaksanaan relatif lebih cepat, dan mudah serta bentuk konstruksi lebih variatif. Namun demikian disamping keuntungan, sambungan las juga memiliki kelemahan, diantaranya adalah timbulnya lonjakan tegangan yang besar disebabkan oleh perubahan struktur mikro pada daerah sekitar lasan yang menyebabkan turunnya kekuatan bahan dan akibat adanya tegangan sisa, sert a adanya retak akibat proses pengelasan (Popović et al., 2010).

2.2 Las GMAW (*Gas Metal Arc Welding*)

2.2.1 Las GMAW (*Gas Metal Arc Welding*)

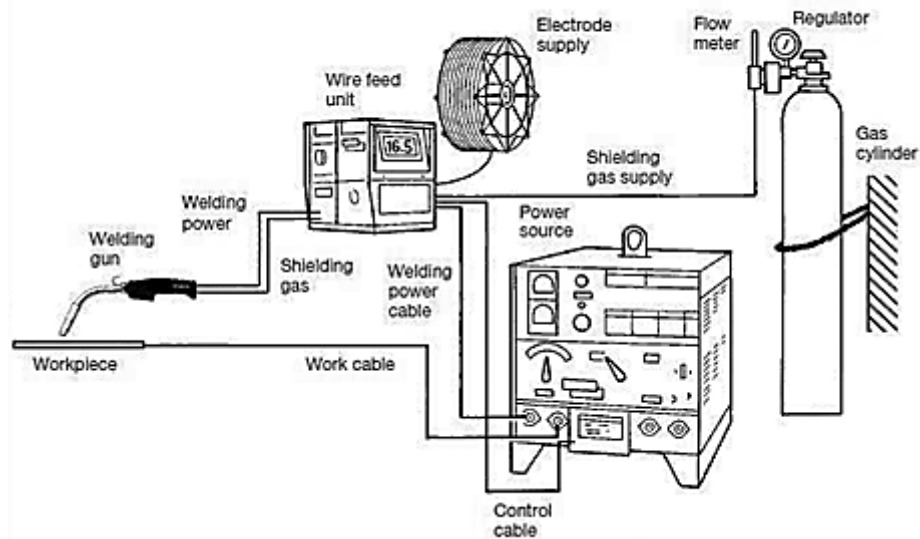
Las *GMAW (Gas Metal Arc Welding)* yaitu merupakan proses penyambungan dua material logam atau lebih menjadi satu melalui proses pencairan setempat, dengan menggunakan elektroda gulungan (*filler metal*) yang sama dengan logam dasarnya (*base metal*) dan menggunakan gas pelindung (*inert gas*). Las *GMAW (Gas Metal Arc Welding)* merupakan las busur gas yang menggunakan kawat las sekaligus sebagai elektroda. Elektroda tersebut berupa gulungan kawat (rol) yang gerakannya diatur oleh motor listrik. Las ini menggunakan gas argon dan CO₂ sebagai pelindung busur dan logam yang mencair dari pengaruh atmosfer.



Gambar 2. 1 Las GMAW (Siswanto, 2018)

2.2.2 Proses Mesin Las GMAW (*Gas Metal Arc Welding*)

Proses pengelasan *GMAW* (*Gas Metal Arc Welding*) panas dari proses pengelasan ini dihasilkan oleh busur las yang terbentuk diantara elektroda kawat (*wire electrode*) dengan benda kerja. Selama proses las MIG, elektroda akan meleleh kemudian menjadi deposit logam las dan membentuk butiran las. Gas pelindung digunakan untuk mencegah terjadinya oksidasi dan melindungi hasil las selama pembekuan. Proses pengelasan MIG beroperasi menggunakan arus searah DC biasanya menggunakan elektroda kawat positif. Ini dikenal sebagai polaritas terbalik (*reverse polarity*). Polaritas searah sangat jarang digunakan karena transfer logam yang kurang baik dari elektroda kawat ke benda kerja. Hal ini karena polaritas searah, panas terletak pada elektroda. Adapun proses las dapat dilihat pada gambar berikut ini:



Gambar 2. 2 Proses pengelasan GMAW (Siswanto, 2018)

Nama lain dari proses pengelasan ini adalah metal inert gas (MIG) dimana kawat elektroda yang digunakan tidak terbungkus dan sifat suplainya yang terus menerus. Daerah lasan terlindung dari atmosfer melalui gas yang dihasilkan dari alat las tersebut, seperti terlihat pada Gambar 2.2. Gas pelindung yang digunakan adalah gas Argon, helium atau campuran dari keduanya. Untuk memantapkan busur kadang-kadang ditambahkan gas O_2 antara 2 sampai 5% atau CO_2 antara 5 sampai 20%.

Jenis lasan Jenis alur	Lasan dengan alur		
	Lasan Penetrasi penuh tanpa pelat penahan	Lasan penetrasi penuh dengan pelat penahan	Lasan penetrasi sebagian
Persegi (I)			
V tunggal (V)			
Tirus tunggal (V)			
U tunggal (U)		—	
V ganda (K)		—	
Tirus ganda (K)		—	
U ganda (H) (DU)		—	
J tunggal (J)		—	
J ganda (D)		—	

Gambar 2. 3 Alur Sambungan (Siswanto, 2018).

Untuk mempermudah dalam proses pengelasan, perlu adanya kampuh agar *filler* dapat mengisi logam induk yang akan disambung. Kampuh akan diperlukan jika ketebalan material yang akan dilas lebih dari 6 mm (ASTM, n.d.). Ada beberapa jenis kampuh yang biasanya digunakan dalam pengelasan misalnya *V-butt joint*, *double V-butt joint*, dll seperti yang terlihat pada Gambar 2.3.

parameter-parameter yang berpengaruh dalam pengelasan *GMAW* (*Gas Metal Arc Welding*) diantaranya adalah sebagai berikut:

1) Arus listrik Arus

berpengaruh dalam proses pengelasan busur listrik, besar kecil arus yang digunakan dapat menentukan ukuran dan bentuk hasil penetrasi dan deposit las. Arus yang semakin besar cenderung menghasilkan penetrasi yang lebih dalam dan luas daerah lasan semakin sempit.

2) Kecepatan las

Kecepatan pengelasan tergantung pada jenis elektroda. Diameter inti elektroda. Bahan yang dilas, geometri sambungan, ketelitian sambungan. Kecepatan las tidak ada hubungannya dengan tegangan tetapi berbanding lurus dengan kuat arus, sehingga pengelasan yang cepat membutuhkan arus las yang tinggi untuk mencapai hasil las yang baik. Jika kecepatan las dinaikkan maka masukan panas per satuan panjang akan menjadi kecil sehingga pendinginan akan berjalan cepat.

3) Gas pelindung

Gas yang digunakan pada pengelasan *GMAW (Gas Metal Arc Welding)* yaitu gas mulia karena sifatnya stabil dan tidak mudah bereaksi dengan unsur lainnya. Gas Argon memberikan perlindungan yang lebih baik tetapi penembusannya dangkal, sehingga untuk memperdalam penembusannya dapat dilakukan dengan.

4) Elektroda

Elektroda yang digunakan pada pengelasan *GMAW (Gas Metal Arc Welding)* yaitu elektroda terumpan yang berfungsi sebagai pencipta busur nyala dan juga sebagai logam pengisi. Besar kecilnya ukuran elektroda tergantung pada bahan yang digunakan dan ukuran tebal bahan.

5) Voltage atau Tegangan Busur Las

Kekuatan sambungan yang tinggi diperlukan penembusan atau penetrasi yang cukup. Besarnya penembusan tergantung pada sifat-sifat fluks, polaritas, besarnya arus, kecepatan las, dan tegangan yang digunakan. Semakin besar arus maka semakin besar daya tembusnya. Tegangan atau voltage yang semakin besar maka semakin panjang busur yang terjadi dan semakin tidak terpusat, sehingga panasnya melebar dan menghasilkan penetrasi yang lebar dan dangkal. Ada pengecualian terhadap beberapa elektroda khusus untuk penembusan dalam yang memang memerlukan tegangan tinggi. Pada kecepatan tertentu, naiknya kecepatan akan memperdalam penembusan, tetapi melampaui kecepatan tersebut penembusan akan turun dengan naiknya kecepatan.

2.2.3 Jenis – jenis Gas Pelindung

Gas-gas pelindung untuk *GMAW (Gas Metal Arc Welding)* adalah pelindung untuk mempertahankan atau menjaga stabilitas busur dan perlindungan cairan logam las dari kontaminasi selama pengelasan, terutama dari atmosfer dan pengotoran daerah las. Fungsi utama gas pelindung adalah untuk membentuk sekeliling daerah pengelasan dengan media pelindung yang tidak bereaksi dengan daerah las tersebut. Sedangkan fungsi utama dari gas pelindung adalah mengusir udara disekitar busur dan kolam las agar tidak bersinggungan dengan cairan metal untuk mencegah terjadinya proses oksidasi metal tersebut oleh oksigen dalam udara. Jenis gas pelindung yang digunakan untuk mengelas baja karbon dan baja paduan adalah sebagai berikut:

a. Gas Argon

Argon adalah jenis gas pelindung yang digunakan secara sendiri atau dicampur dengan gas lainnya untuk mencapai karakteristik busur yang diinginkan pada proses pengelasan logam fero maupun non fero. Hampir semua proses pengelasan *GMAW (Gas Metal Arc Welding)* dapat menggunakan gas argon atau campuran gas argon untuk mendapatkan mampu las, property mekanik, karakteristik busur dan produktifitas yang baik. Gas argon digunakan secara sendiri tanpa campuran untuk proses pengelasan logam non fero, seperti aluminium, paduan nikel, paduan tembaga, dan lainnya. Gas argon dapat menghasilkan stabilitas busur yang baik pada pengelasan busur spray, dan menghasilkan penetrasi serta bentuk bead weld yang baik. Ketika menggunakan logam fero, gas argon biasanya dicampur dengan gas lainnya seperti oksigen, dan helium.

b. Gas Helium

Helium adalah gas pelindung yang digunakan untuk proses pengelasan yang membutuhkan masukan panas (*heat input*) yang lebih besar untuk meningkatkan bead weld, penetrasi yang lebih dalam dan kecepatan pengelasan yang lebih cepat.

c. Karbon Dioksida

Gas karbon dioksida umumnya digunakan untuk proses pengelasan logam fero. Kelebihan dari gas pelindung karbon dioksida adalah kecepatan pengelasan yang cepat dan penetrasi yang lebih dalam. Gas karbon dioksida juga dapat dicampur dengan gas pelindung lainnya untuk menambah karakteristik kimia gas tersebut.

2.3 Jenis Elektroda Pengelasan

Elektroda terbungkus pada umumnya digunakan dalam pelaksanaan pengelasan tangan. Di negara-negara industri, elektroda las terbungkus sudah banyak yang di standarkan berdasarkan penggunaannya. Standarisasi elektroda dalam AWS (*American Welding Society*) didasarkan pada jenis fluks, posisi pengelasan dan arus las dan dinyatakan dengan tanda EXXXX, yang artinya sebagai berikut:

E : Menyatakan elektroda las busur listrik

XX : Dua angka sesudah E menyatakan kekuatan tarik (ksi)

X : Angka ketiga menyatakan posisi pengelasan, yaitu:

- Angka 1 untuk pengelasan segala posisi
- Angka 2 untuk pengelasan posisi datar dan dibawah tangan
- Angka 3 untuk pengelasan posisi dibawah tangan

X : Angka keempat menyatakan jenis selaput dan arus yang cocok dipakai untuk pengelasan.

Sebagai contoh adalah elektroda E6011, dapat dinyatakan sebagai berikut:

E : Menyatakan elektroda las busur listrik

60 : Menyatakan elektroda tersebut memiliki kekuatan tarik sebesar 60 ksi

1 : Menyatakan elektroda tersebut dapat digunakan pada pengelasan segala posisi

1 : Menyatakan selaput pembungkus elektroda tersebut mengandung rutil kalium dan pengelasan dengan arus AC atau DC+ atau DC

Adapun macam macam kandungan elektroda sesuai kegunaan nya yaitu:

1) Paduan silikon (Si)

Silikon adalah elemen deoksidasi yang paling sering digunakan dalam paduan elektroda las *GMAW (Gas Metal Arc Welding)*. Umumnya elektroda jenis ini mengandung silikon 0,40%-1,00%, dalam jangkauan prosentase silikon menunjukkan kemampuan deoksidasi yang baik.

2) Elektroda ferro

Elektroda ini pada umumnya digunakan untuk mengelas logam stainless steel dan baja karbon, setiap elektroda ferro mempunyai kandungan unsur paduan yang lain. Fungsi utama penambahan paduan tersebut untuk mengatur *deoksidasi* genangan las (*weld puddle*) dan membantu menentukan *property* mekaniknya setelah dilakukan pengelasan.

3) Paduan aluminium (Al) titanium (Ti) % zirkonium (Zr)

Ketiga elemen tersebut adalah elemen deoksidasi yang sangat kuat. Dengan penambahan dari ketiga elemen maka akan sedikit meningkatkan kekuatan. Komposisi jumlah dari ketiga elemen ini tidak boleh lebih dari 0,2%.

4) Paduan mangan

Mangan digunakan untuk meningkatkan kekuatan dan deoksidasi sambungan dan logam las. Elektroda mild steel mengandung 1-2% mangan, dengan menaikkan mangannya akan mengurangi sensitifitas keretakan karena panas dari logam las.

5) Paduan karbon dan lainnya

Karbon mempengaruhi struktur dan *property* mekanik logam las lebih besar dari elemen paduan lainnya. Untuk pengelasan baja karbon elektroda mengandung 0,05-0,12% karbon. Presentase ini cukup untuk menghasilkan kekuatan logam las yang diinginkan.

2.4 Kampuh V

Pengerjaan sambungan atau kampuh las terdiri dari 4 jenis yaitu sambungan kampuh sisi, sambungan berimpit, sambungan sudut dan sambungan T. Sambungan atau kampuh menumpu adalah sambungan las yang dilakukan dengan jalan mengelas bagian tepi atau ujung dari logam yang akan dilas. Adapun sambungan atau kampuh menumpu terdiri dari sambungan I, V, X, $\frac{1}{2}$ V, $\frac{1}{2}$ X, dan U. Kampuh

V digunakan untuk menyambung logam/plat yang tebalnya antara 6-16 mm, dimana sambungan ini terdiri dari sambungan kampuh V terbuka dan tertutup. Kampuh V terbuka digunakan untuk menyambung logam/plat yang tebalnya 6-16 mm dengan sudut kampuh 60°C-80°C dan jarak/celah kampuh sekitar 2 mm serta tinggi dasar sampai sudut kampuh 1-2 mm. Pada waktu mengelas kampuh V terbuka diberi plat penahan cairan sepanjang kampuh yang gunanya untuk mencegah cairan bertumpuk disebelah bawah kampuh dan plat penahan tersebut dapat dibuka bila diperlukan. Sambungan kampuh V tertutup digunakan untuk menyambung logam/plat yang tebalnya 8-16 mm dengan sudut kampuh dan tinggi dari dasar sampai dasar sudut kampuh dibuat sama dengan sambungan kampuh V terbuka.

2.5 Baja Karbon

Baja karbon merupakan paduan yang terdiri dari besi karbon dan unsur lainnya. Baja dapat dibentuk melalui proses pengecoran pencairan atau penempaan. Karena penggunaannya sangat luas maka berbagai pihak sering mengklasifikasikan baja antara lain menurut cara pembuatannya, penggunaannya, kekuatannya, menurut struktur mikronya dan menurut komposisi kimianya. Menurut komposisi kimianya baja dapat dibagi menjadi dua kelompok besar yaitu baja karbon dan baja paduan. Baja karbon adalah baja yang mengandung karbon antara 0,1%-1,7% dan mempunyai kandungan unsur utama yang sama dengan besi yaitu Fe, hanya kadar karbon sajalah yang membedakannya. Penggunaan baja saat ini sangat luas mulai dari alat alat sederhana seperti sendok dan garpu sampai alat alat dan mesin seperti roda gigi dan excavator. Seperti disebutkan sebelumnya unsur utama dari baja komersil adalah Fe namun juga terdapat unsur unsur lain yang memiliki peran penting diantaranya adalah Karbon (C), *Manganese (Mn)*, *Silikon (Si)*, *Sulfur (S)*, dan *Pospor (P)*, *Belerang (S)*, *Crom (Cr)*, *nikel (Ni)*, *Molibden (Mo)* dan unsur unsur lainnya. Unsur-unsur tersebut ditambahkan dengan maksud untuk mempebaiki sifat fisis dan mekanis dari baja tersebut. Jenis-jenis baja berdasarkan kadar karbonnya antara lain:

a) Baja Karbon Rendah

Memiliki kandungan karbon dibawah 0,3%. Baja karbon rendah sering disebut dengan baja ringan (*mild steel*) atau baja perkakas. Jenis baja yang umum dan banyak digunakan adalah jenis cold roll steel dengan kandungan karbon 0,08-0,3% yang bisa digunakan untuk body kendaraan.

b) Baja Karbon Sedang

Baja karbon sedang merupakan baja yang memiliki kandungan karbon 0,3-0,6%. Baja karbon sedang memiliki kekuatan yang lebih baik dibandingkan baja karbon rendah dan memiliki kualitas perlakuan panas yang tinggi, tidak mudah dibentuk oleh mesin, lebih sulit dilakukan untuk pengelasan dan dapat dikeraskan dengan baik. Penggunaannya untuk pembuatan komponen mesin yang memerlukan kekuatan tinggi.

c) Baja Karbon Tinggi

Yaitu baja yang mengandung karbon antara 0,6-1,5%. Baja ini biasanya digunakan untuk keperluan konstruksi yang berhubungan dengan panas tinggi atau dalam penggunaannya akan menerima atau mengalami panas seperti pahat, kikir, dll.

2.6 Baja AISI 1045

American Iron and Steel Institute (AISI) 1045 adalah baja karbon yang kandungan karbonnya sekitar 0,42% - 0,50% baja ini termasuk dalam golongan baja menengah AISI 1045 menunjukkan bahwa 45 adalah kandungan atau kadar karbon pada baja tersebut yaitu 0,45 %. Sifat mekanik dari baja AISI 1045 sangat baik dimana baja tersebut memiliki sifat mekanik dan kemampuan pengelasan mesin, serta tingkat kekerasan dan ketahanan aus yang baik. Baja AISI ini dapat mempunyai ketahanan aus yang baik sehingga dapat berfungsinya untuk menahan keausan akibat bergesekan dengan rantai. Pada umumnya nilai dari kekuatan tarik baja AISI 1045 sebesar 570 hingga 700 MPa, dan nilai kekerasan Brinell berkisar antara 170 hingga 210 BHN. Suhu *Austenitic* baja AISI 1045 berkisar antara 820°C - 860°C yang dimana sifat yang didapatkan berupa kemampuan las yang baik, mampu mesin yang baik, serta reduksi beban impak yang cukup baik. Suhu austenite baja AISI 1045 berkisar diantara 820°C-860°C dimana sifat yang

didapatkan berupa kemampuan las yang baik, mampu mesin yang baik. Berikut merupakan komposisi kimia dengan standar DIN 50049/EN 10204/2.3 menggunakan baja AISI 1045 yang dapat ditunjukkan pada tabel 2.1.

Tabel 2. 1 Komposisi Kimia Baja AISI 1045 (T. O. Harsono Wiryosumarto, 1981)

<i>Element</i>	C	Si	Mn	S	Cr	Ni
<i>% Of Wt</i>	0,50	0,40	0,40	0,040	0,63	0,63

2.7 *Baja Stainless Steel 400*

Baja SS400/ST 41/JIS G 3101/ASTM A36 baja dengan kadar karbon rendah (max. 0,3% C)/*low carbon steel*, material ini tidak dapat dikeraskan dengan perlakuan panas (*heat treatment*) melalui proses *quench and temper*.

Material ini hanya bisa dikeraskan melalui pengerasan permukaan (*surface hardening*) seperti karburasi (*carburizing*), nitriding atau carbonitriding, dimana kekerasan permukaan bisa mencapai 500 Brinell (kira kira 50 HRC) pada kedalaman permukaan 10 hingga 20 mikron tergantung parameter prosesnya.

Baja karbon SS400 adalah baja konstruksi, baja ini sering disebut juga baja ST41/JIS G 3101/ASTM A36 dan termasuk dalam jenis baja umum (*mild steel*) dimana komposisi kimianya hanya karbon (C), Manganese (Mn), Silikon (Si), Sulfur (S), dan Pospor (P) yang dipakai untuk aplikasi struktur/konstruksi umum (*general purpose structural steel*) misal untuk jembatan (*bridge*), pelat kapal laut, oil tank, dll. Berikut komposisi kimia baja *stainless steel 400*

Tabel 2. 2 Komposisi Kimia Baja SS400 (T. O. Harsono Wiryosumarto, 1981)

<i>Element</i>	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	N
<i>% Of Wt</i>	0,14	0,13	0,69	0,009	0,005	0,01	0,01	<0,008

Baja SS 400 adalah kode baja dari standar JIS untuk baja JIS G 3101, grade dari baja ini dapat dilihat pada tabel 2.3.

Tabel 2. 3 Macam-macam *Baja SS Standar JIS G 3101* (Wiryosumarto, 2000)

Symbol Grade	Shape of Steel Product	Applicable Dimensions
SS330	Steel plates and sheets, strips in coil, flats and bars	-
SS400	Steel plates and sheets,	-
SS490	strips in coil, flats	-
SS540	Steel bars	$\leq 40\text{mm}$ in thickness * $\leq 40\text{mm}$ in diameter, side or distance across flats

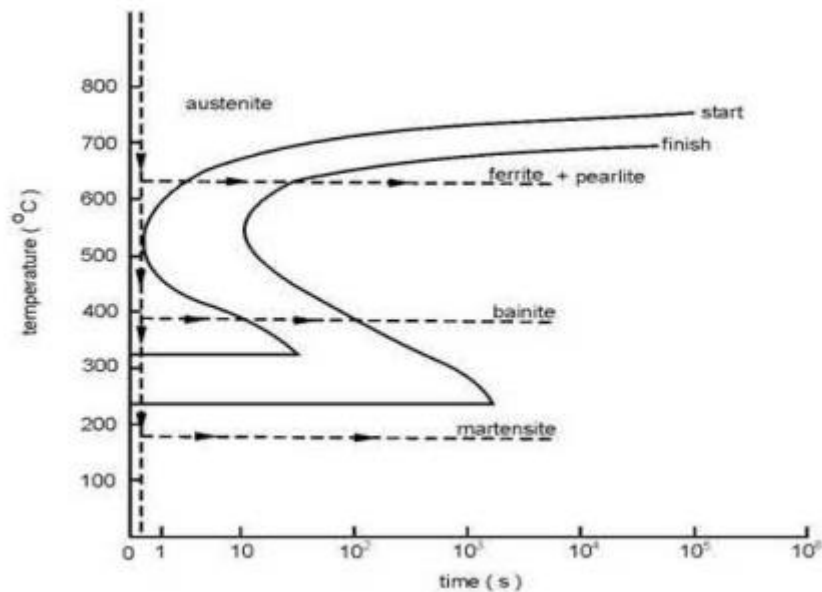
2.8 Quenching

Proses *quenching* sendiri dilakukan pendinginan secara cepat dengan menggunakan media berupa udara, air sumur, oli dan larutan garam. Suatu jenis media kemampuan dalam mendinginkan spesimen bisa berbeda beda, adanya suatu perbedaan kemampuan media pendingin ini di sebabkan oleh temperatur, kekentalan, kadar larutan dan bahan dasar media pendingin. Dimana semakin cepat logam yang didinginkan maka akan semakin keras sifat logam tersebut. Proses pendinginan yang cepat lebih banyak menghasilkan karbon dari pendinginan lambat. Hal ini disebabkan karena atom karbon tidak sempat berdifusi keluar, terjebak dalam struktur kristal dan membentuk struktur tetragonal yang ruang kosong antar atomnya kecil, sehingga kekerasannya meningkat.

Proses *quenching* melibatkan beberapa faktor yang saling berhubungan. Pertama yaitu jenis media pendingin dan kondisi proses yang digunakan, yang kedua adalah komposisi kimia dan hardenbility dari logam tersebut. *Hardenbility* merupakan fungsi dari komposisi kimia dan ukuran butir pada temperatur tertentu. Selain itu, dimensi dari logam juga berpengaruh terhadap hasil proses *quenching*.

1. Pendinginan Tidak Menerus

Jika suatu baja didinginkan dari suhu yang lebih tinggi dan kemudian ditahan pada suhu yang lebih rendah selama waktu tertentu, maka akan menghasilkan struktur mikro yang berbeda. Hal ini dapat dilihat pada diagram *Isothermal Tranformation* di bawah ini.



Gambar 2. 4 *Isothermal Tranformation Diagram* (Planckaert, 2010)

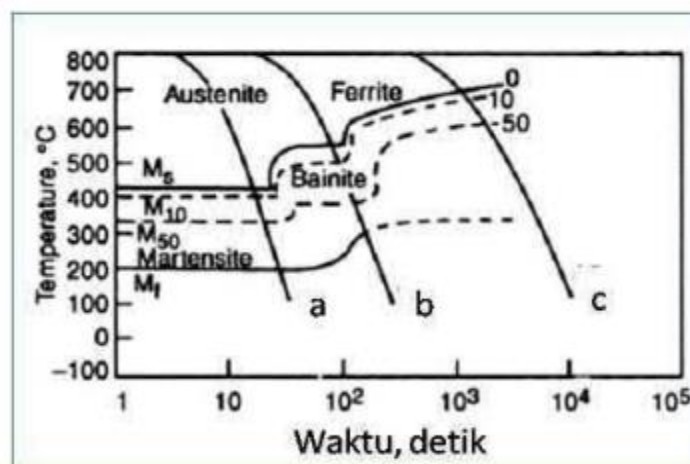
Berikut beberapa penjelasan tentang diagram di atas :

- Bentuk diagram tergantung dengan komposisi kimia terutama kadar karbon dalam baja tersebut.
- Untuk baja dengan kadar karbon kurang dari 0,83% yang ditahan suhunya dititik tertentu dan letaknya dibagian atas dari kurva C, akan menghasilkan struktur perlit dan ferit.
- Jika ditahan suhunya pada titik tertentu bagian bawah kurva C tapi masih disisi sebelah atas garis horizontal, maka akan mendapatkan struktur mikro Bainit (lebih keras dari perlit).
- Bila ditahan suhunya pada titik tertentu di bawah garis horizontal, maka akan mendapat struktur Martensit (sangat keras dan getas).
- Semakin tinggi kadar karbon, maka kedua buah kurva C tersebut akan bergeser kekanan.

- f) Ukuran butir sangat dipengaruhi oleh tingginya suhu pemanasan, lamanya pemanasan dan semakin lama pemanasannya akan timbul butiran yang lebih besar. Semakin cepat pendinginan akan menghasilkan ukuran butir yang lebih kecil.

2. Pendinginan Terus Menerus

Dalam prakteknya proses pendinginan pada pembuatan material baja dilakukan secara menerus mulai dari suhu yang lebih tinggi sampai dengan suhu rendah. Pengaruh kecepatan pendinginan terus menerus terhadap struktur mikro yang terbentuk dapat dilihat dari diagram *Continuous Cooling Transformation Diagram*. Penjelasan diagram *Continuous Cooling Transformation Diagram* : Kurva pendinginan (a) menunjukkan pendinginan secara kontinyu yang sangat cepat dari temperature austenite sekitar 920 °C ke temperatur 200°C. Laju pendinginan cepat ini menghasilkan dekomposisi fasa austenite menjadi martensit. Fasa *Austenite* akan mulai terdekomposisi menjadi martensit pada Temperature MS (*Martensite Start*). Sedangkan akhir pembentukan martensite akan berakhir ketika pendinginan mencapai temperature MF (*martensite finish*). Kurva pendinginan (b) menunjukkan pendinginan kontinyu dengan laju sedang/medium dari temperature 920°C ke 250°C. Dengan laju pendinginan kontinyu ini fasa austenite terdekomposisi menjadi struktur bainit. Kurva pendinginan (c) menunjukkan pendinginan kontinyu dengan laju pendinginan lambat dari temperatur 920°C ke 250°C. Pendinginan lambat ini menyebabkan fasa austenite terdekomposisi menjadi fasa ferit dan perlit.



Gambar 2. 5 Continuous Cooling Transformation Diagram (Planckaert, 2010)

Proses hardening yang lainnya sebagai berikut :

a) Tempering

Tempering adalah proses pemanasan kembali sampai temperatur di bawah temperatur kritis bawah, hal tersebut dimaksudkan agar dapat mengurangi tegangan dalam, keuletan serta ketangguhannya naik kembali. Tempering didefinisikan sebagai proses pemanasan logam setelah dikeraskan pada temperatur tempering (di bawah suhu kritis), yang dilanjutkan dengan proses pendinginan. Baja yang telah dikeraskan bersifat rapuh/getas dan tidak cocok untuk digunakan, melalui proses tempering kekerasan dan kerapuhan dapat diturunkan sampai memenuhi persyaratan penggunaan. Kekerasan turun, kekuatan tarik akan turun pula sedang keuletan dan ketangguhan baja akan meningkat. Meskipun proses ini menghasilkan baja yang lebih lunak, proses ini berbeda dengan proses anil (*annealing*) karena sifat-sifat fisis dapat dikendalikan dengan cermat. Pada suhu 200°C sampai 300°C laju difusi lambat hanya sebagian kecil karbon dibebaskan, hasilnya sebagian struktur tetap keras tetapi mulai kehilangan kerapuhannya. Di antara suhu 500°C dan 600°C difusi berlangsung lebih cepat, dan atom karbon yang berdifusi di antara atom besi dapat membentuk cementit.

Menurut tujuannya proses tempering dibedakan sebagai berikut :

1. Tempering pada suhu rendah (150° – 300°C)
Tempering ini hanya untuk mengurangi tegangan-tegangan kerut dan kerapuhan dari baja, biasanya untuk alat-alat potong, mata bor dan sebagainya.
2. Tempering pada suhu menengah (300° - 550°C) Tempering pada suhu sedang bertujuan untuk menambah keuletan dan kekerasannya sedikit berkurang. Proses ini digunakan pada alat-alat kerja yang mengalami beban berat, misalnya palu, pahat, pegas. Suhu yang digunakan dalam penelitian ini adalah 500°C pada proses tempering.
3. Tempering pada suhu tinggi (550°C - 650°C) Tempering suhu tinggi bertujuan memberikan daya keuletan yang besar dan sekaligus kekerasannya menjadi agak rendah misalnya pada roda gigi, poros batang penggerak dan sebagainya.

b) *Annealing*

Proses pemanasan (*annealing*) pada baja adalah proses pemanasan logam baja hingga tinggi suhu tertentu, kemudian dipertahankan suhunya tetap dalam waktu tertentu dan diikuti dengan pendinginan lambat dalam tungku yang dimatikan. Tujuan *annealing* adalah untuk mendapatkan baja dengan kadar karbon tinggi tetapi dapat dikerjakan mesin/mampu mesin atau pengerjaan dingin, memperbaiki keuletan, menurunkan/menghilangkan ketidak homogenan struktur, memperhalus ukuran butir, menghilangkan tegangan dalam dan menyiapkan struktur baja untuk proses perlakuan panas. Semakin tinggi suhu pemanasan maka struktur mikro baja karbon akan berubah dan besar ukuran butir bertambah besar sehingga baja karbon semakin ulet dan kekerasan menurun. Bertambahnya suhu *annealing* maka kekerasan akan menurun. Kekerasan juga akan menurun dengan bertambahnya waktu tahan. Logam dipanaskan sekitar 25°C di atas temperatur kritis bagian atas, ditahan dalam beberapa waktu, kemudian didinginkan pelan-pelan di tungku perapian. Proses ini digunakan untuk memindahkan tekanan internal penuh sebagai hasil proses pendinginan. Berikutnya pendinginan logam diatur kembali di dalam sama besar untuk menurunkan energi bentuk wujud, tegangan yang baru dibebaskan dibentuk dan pertumbuhan butir dukung.

c) *Normalizing*

Normalizing adalah suatu proses yang dilakukan dengan cara memanaskan baja hingga mencapai temperatur austenite, kemudian pada temperatur tersebut ditahan untuk beberapa saat, lalu di dinginkan perlahan-lahan dengan menggunakan media pendingin udara. Tujuan dari perlakuan *normalizing* ini adalah meningkatkan keseragaman dan mengeleminasi tegangan sisa. Temperatur pemanasan *normalizing* sekitar 50° C di atas temperatur kritis atas Ac3 untuk baja *hypoeutectoid* agar diperoleh *austenite* yang homogen. Pada proses pendinginan ini temperatur logam terjaga untuk sementara waktu sekitar 2 menit per mm dari ketebalannya hingga temperatur spesimen sama dengan temperatur ruangan, dan struktur yang diperoleh dalam proses ini diantaranya *perlit (eutectoid)*, *perlit brown ferrite (hypoeutectoid)* atau *perlit brown cementite (hypereutectoid)*. *Normalizing* digunakan untuk menyuling struktur butir dan menciptakan suatu austenite yang lebih homogen ketika baja dipanaskan kembali.

2.8.1 Media Pendingin

Media pendinginan yang digunakan adalah air dan oli dengan menggunakan media pendinginan tersebut akan memberikan daya pendinginan yang cepat. Sebagai usaha mempercepat turunnya temperatur benda kerja dan mengakibatkan bahan menjadi keras di dalam air dan oli. Air memiliki karakteristik yang khas dan berbeda yang tidak dimiliki oleh senyawa kimia yang lain. Pada kisaran suhu yang sesuai bagi kehidupan, dimana pada suhu 0°C (32°F) – 100°C , air akan berwujud cair. Suhu 0°C dimana suhu ini merupakan titik beku (freezing point) dan pada suhu 100°C dimana suhu ini merupakan titik didih (boiling point) air. Dimana perubahan pada suhu air berlangsung lambat oleh karena itu sifat air yakni sebagai penyimpan panas yang sangat baik. Sifat ini memungkinkan air tidak menjadi panas atau dingin dalam seketika. Dalam proses penguapan air memerlukan panas yang tinggi. Penguapan atau disebut juga (evaporasi) merupakan suatu proses perubahan yang terjadi pada air dimana air akan berubah menjadi uap air. Proses penguapan ini memerlukan energi panas dalam jumlah yang besar.

Sedangkan Oli memberi pendinginan yang lambat, oli ini sering digunakan di industri. Oli memiliki nilai viskositas atau kekentalan yang tertinggi dibandingkan dengan media pendingin lainnya dan massa jenis yang rendah sehingga laju pendinginannya lambat. Untuk pendinginan yang kita pakai pada penelitian ini yaitu oli bekas pada kendaraan sepeda motor. Oli bekas itu adalah oli yang sudah terpakai, meliputi bekas pemakaian dari mesin pabrik, mesin kendaraan bermotor roda dua atau roda empat, mesin kapal, mesin diesel, dan mesin mesin yang lainnya.

1. Air

Air adalah senyawa kimia dengan rumus kimia H_2O . Air memiliki sifat tidak berwarna, tidak berasa dan tidak berbau. Air memiliki titik beku 0°C dan titik didih 100°C . Pendinginan menggunakan air akan memberikan daya pendinginan yang cepat dibandingkan dengan oli (minyak) karena air dapat dengan mudah menyerap panas yang dilewatinya dan panas yang terserap akan cepat menjadi dingin. Kemampuan panas yang dimiliki air besarnya 10 kali dari minyak. Sehingga akan dihasilkan kekerasan dan kekuatan yang baik pada baja. Pendinginan menggunakan air menyebabkan tegangan dalam, distorsi dan retak.

2. Minyak

Minyak yang digunakan sebagai fluida pendingin dalam perlakuan panas adalah yang dapat memberikan lapisan karbon pada kulit (permukaan) benda kerja yang diolah. Selain minyak yang khusus digunakan sebagai bahan pendinginan pada proses perlakuan panas, dapat juga digunakan minyak bakar atau oli. Viskositas oli dan bahan dasar oli sangat berpengaruh dalam proses pendinginan sampel. Oli yang mempunyai viskositas lebih rendah memiliki kemampuan penyerapan panas lebih baik dibandingkan dengan oli yang mempunyai viskositas lebih tinggi karena penyerapan panas akan lebih lambat.

3. Udara

Pendinginan udara dilakukan untuk perlakuan panas yang membutuhkan pendinginan lambat. Udara yang disirkulasikan ke dalam ruangan pendinginan dibuat dengan kecepatan yang rendah. Udara sebagai pendingin akan memberikan kesempatan kepada logam untuk membentuk kristal-kristal dan kemungkinan mengikat unsur-unsur lain dari udara

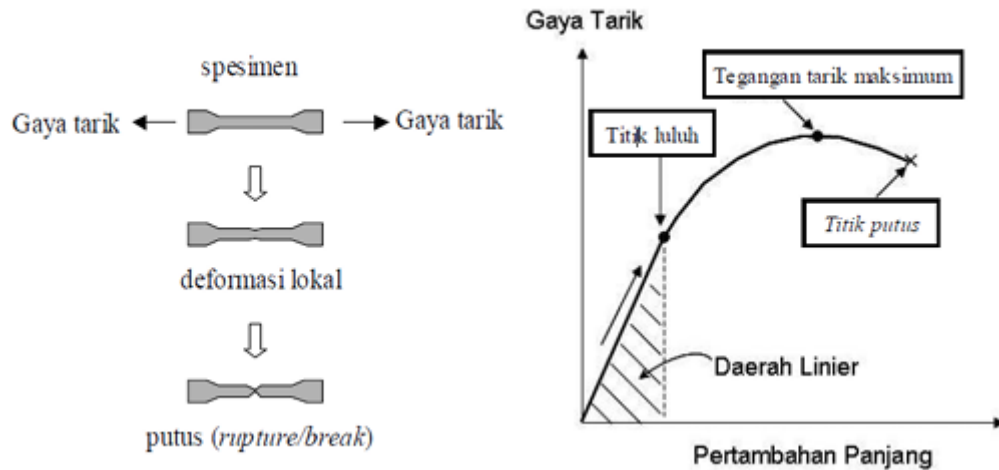
2.9 Pengujian

Seluruh specimen yang selesai dilakukan pengelasan akan dipotong sesuai dengan ukuran yang dibutuhkan untuk melakukan pengujian sifat mekanik melalui uji tarik, dan uji kekerasan.

2.9.1 Pengujian Tarik

Uji tarik adalah salah satu uji *strees-strain* mekanik yang bertujuan untuk mengetahui kekuatan bahan terhadap gaya tarik. Pengujian tarik untuk mengetahui berapa besar nilai kekuatannya dan dimanakah letak putusnya suatu sambungan las. Pembebanan tarik adalah pembebanan yang diberikan pada benda dengan memberikan gaya tarik pada arah yang berlawanan arah pada salah satu ujung benda. Penarikan gaya terhadap beban akan mengakibatkan terjadinya deformasi pada bahan tersebut. Proses terjadinya deformasi pada bahan uji adalah proses pergeseran butiran kristal logam yang mengakibatkan lemahnya gaya elektromagnetik setiap atom logam hingga terlepas ikatan tersebut oleh penarikan gaya maksimum. Pada pengujian tarik beban diberikan secara continue dan pelan-

pelan bertambah besar, bersamaan dengan itu dilakukan pengamatan mengenai perpanjangan yang dialami benda uji dan dihasilkan kurva tegangan dan regangan.



Gambar 2. 6 Grafik tegangan regangan (International Organization for Standardization (ISO))

Tegangan diperoleh dengan membagi beban dengan luas penampang awal benda uji.

$$\sigma = \frac{F}{A} \text{ (N/mm}^2\text{)} \dots \dots \dots (2.1)$$

Dimana :

σ = Tegangan (N/mm²)

F = Beban maksimum (N)

A = Luas penampang awal benda uji (mm²)

Regangan (persentase pertambahan panjang) diperoleh dengan membagi perpanjangan benda uji (ΔL) dengan panjang awal benda uji lalu dikalikan 100%.

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} \times 100\% \dots \dots \dots (2.2)$$

Dimana :

ε = Regangan (%)

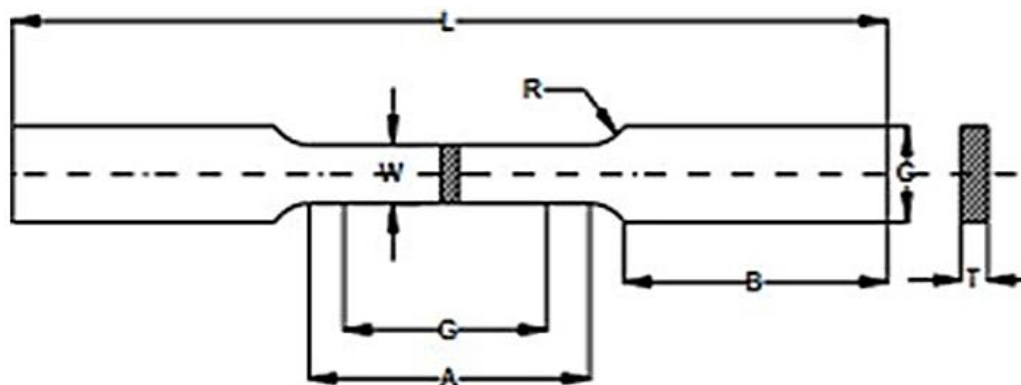
ΔL = L-L₀

L = Panjang akhir (mm)

L₀ = Panjang awal (mm)

Pengujian tarik bertujuan untuk mengetahui kekuatan tarik dari logam induk setelah mengalami proses pengelasan. Pengujian tarik dilakukan dengan cara memberikan beban tarik pada batang uji secara perlahan-lahan sampai benda uji putus atau patah.

Rancangan dimensi spesimen uji tarik menurut standar ASTM E8 dapat dilihat pada Gambar 2.7 sebagai berikut:



Gambar 2. 7 Dimensi Spesimen Uji tarik (ASTM -E8)

Keterangan	Ukuran
Gage Length (G)	50 mm
Length of Reduced Section	57 mm
Width (W)	12.5 mm
Thickness (T)	8-10 mm
Radius Of Fillet (R)	12.5 mm
Overall Length (L)	200 mm
Width Of Grip Section	20 mm

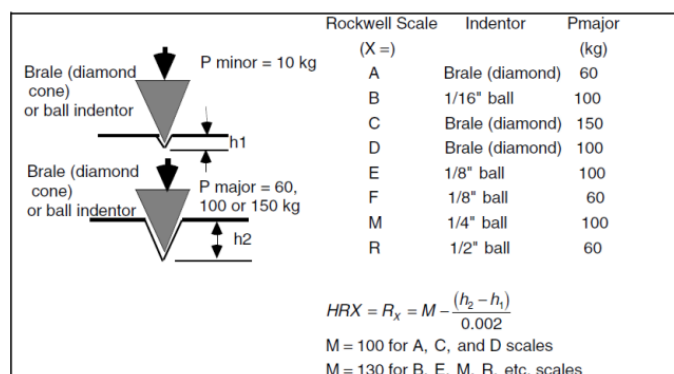
2.9.2 Pengujian Kekerasan

Dalam sambungan hasil pengelasan material secara umum terbagi menjadi tiga zona utama, yaitu *base metal*, *heat affected zone (HAZ)*, dan *weld metal (weld area)*. *Base metal* adalah logam induk yang tidak mengalami perubahan akibat panas selama proses pengelasan sehingga sifat mekanik dan mikrostrukturnya tetap sama seperti kondisi awal. Di sisi lain HAZ merupakan daerah logam di sekitar

garis las yang tidak meleleh namun terpengaruh oleh panas sehingga mengalami perubahan mikrostruktur maupun sifat mekanik. Zona ini sering dianggap sebagai bagian paling kritis karena pendinginan yang tidak terkendali dapat menyebabkan peningkatan kekerasan, penurunan keuletan, bahkan potensi retak (Silva, 2008). Sedangkan *weld metal* atau *weld area* adalah daerah logam yang meleleh akibat panas las dan kemudian membeku kembali, biasanya melibatkan logam pengisi (filler metal). Bagian ini berfungsi sebagai inti sambungan yang menyatukan dua base metal, namun sifat mekaniknya sangat dipengaruhi oleh laju pendinginan dan komposisi material (Kou, 2003).

2.9.2.1 Uji Kekerasan Rockwell

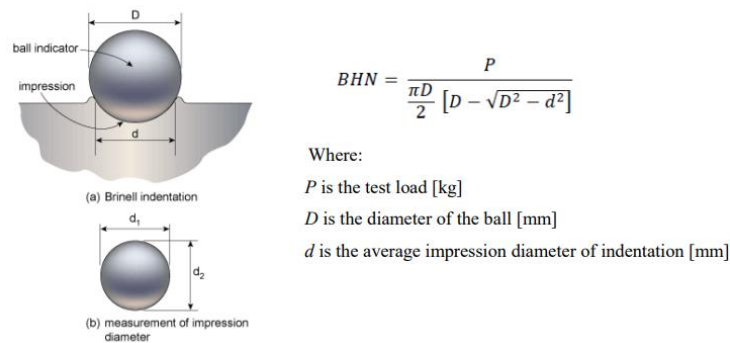
Metode uji kekerasan *Rockwell* terdiri dari penekukan material uji dengan kerucut intan atau bola baja yang dikeraskan. Ketika kesetimbangan telah tercapai, sebuah perangkat penunjuk yang mengikuti gerakan penekusi dan merespons perubahan kedalaman penetrasi penekusi diatur ke posisi datum. Selama beban minor awal masih diterapkan, beban mayor tambahan diterapkan yang mengakibatkan peningkatan penetrasi Gambar 2.8 Ketika kesetimbangan telah tercapai kembali beban mayor tambahan dihilangkan tetapi beban minor awal tetap dipertahankan. Penghilangan beban mayor tambahan memungkinkan pemulihan parsial, sehingga mengurangi kedalaman penetrasi. Peningkatan permanen kedalaman penetrasi, yang dihasilkan dari penerapan dan penghilangan beban mayor tambahan, digunakan untuk menghitung angka kekerasan Rockwell. Berikut prinsip pengujian *rockwell*.



Gambar 2. 8 Prinsip Pengujian Rockwell

2.9.2.2 Pengujian Kekerasan Brinell

Metode uji kekerasan *Brinell* terdiri dari penekukan material uji dengan bola baja atau karbida berdiameter 10 mm yang dikeraskan dan diberi beban 3000 kg. Untuk material yang lebih lunak beban dapat dikurangi menjadi 1500 kg atau 500 kg untuk menghindari penekukan yang berlebihan. Beban penuh biasanya diterapkan selama 10 hingga 15 detik untuk besi dan baja dan setidaknya 30 detik untuk logam lainnya. Diameter penekukan yang tertinggal pada material uji diukur dengan mikroskop berdaya rendah. Angka *Brinell* dihitung dengan membagi beban yang diberikan dengan luas permukaan penekukan. Ketika penekukan ditarik dua diameter cetakan d_1 dan d_2 , diukur menggunakan mikroskop dengan graticule terkalibrasi kemudian dirata-ratakan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.9.



Gambar 2. 9 Prinsip Pengujian Brinell

2.9.2.3 Pengujian Kekerasan Microvickers

Uji kekerasan Vickers menggunakan penumbuk piramida intan yang dasarnya berbentuk bujur sangkar. Besarnya sudut antara permukaan permukaan pyramid yang saling berhadapan antara 136° . Sudut ini dipilih karena nilai tersebut mendekati sebagian besar nilai tersebut mendekati sebagian besar nilai perbandingan yang diinginkan antara diameter lekukan dan diameter bola penumbuk. Karena bentuk penumbuknya pyramid maka pengujian ini sering dinamakan uji kekerasan pyramid intan. Angka kekerasan pada piramida intan (DPH) atau angka kekerasan Vickers (VHN/VPH) didefinisikan sebagai beban dibagi luas permukaan lekukan. Pada prakteknya, luasan ini dihitung dari pengukuran mikroskopik panjang diagonal jejak. Rumus untuk menentukan

besarnya nilai kekerasan dengan metode vickers yaitu seperti yang tertulis dibawah ini.



Gambar 2. 10 Bentuk Indentor Vickres (ASTM - E92)

$$VHN = \frac{[2P \sin(\frac{\alpha}{2})]}{d^2}$$

Maka ,

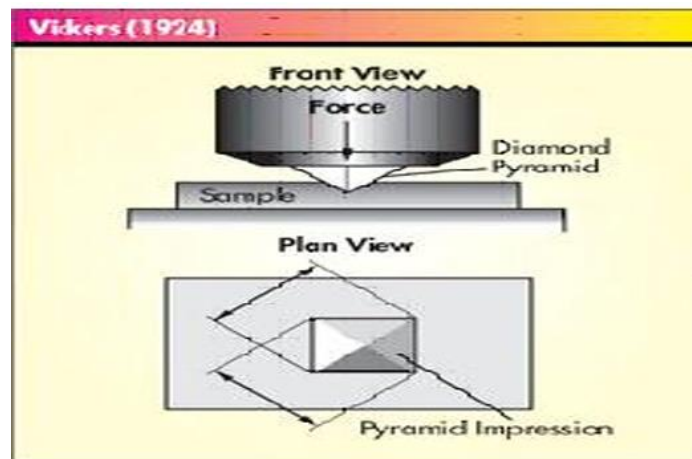
$$VHN = 1,854 \cdot P/d^2$$

Keterangan:

P : Beban yang ditetapkan (Kgf).

d : Panjang diagonal rata – rata (mm).

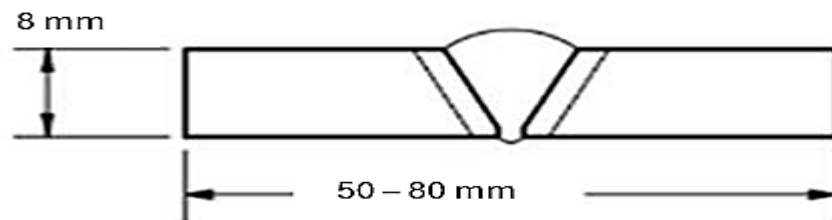
α : Sudut antara permukaan intan yang berhadapan (136°).



Gambar 2. 11 Pengujian Dengan Vickers (ASTM, n.d.)

Uji kekerasan Vickers banyak dilakukan pada penelitian, karena metode tersebut memberikan hasil berupa skala kekerasan yang continue, untuk suatu beban tertentu dan digunakan pada logam yang sangat lunak, yakni VHN nya 5 hingga logam yang sangat keras dengan VHN 1500 (Arif, 2015). Dikarenakan jejak yang dibuat dengan menggunakan penekanan piramida serupa secara geometris dan tidak terdapat

persoalan mengenai ukurannya, hal ini menyebabkan VHN tidak tergantung kepada beban kecuali pada beban yang sangat ringan. Beban yang akan digunakan untuk uji vickers memiliki berat yakni berkisar antara 1 hingga 120 kg dimana berat tergantung pada kekerasan logam yang akan diuji.



Gambar 2. 12 Ukuran Spesimen Uji Kekerasan (ASTM - E92)

Tabel 2. 4 Kelebihan Pengujian Kekerasan Tiap Metode (Cavaliere, 2009)

Metode	Kelebihan Utama	Keterbatasan
Brinell	Cocok untuk material kasar, area luas	Tidak cocok material tipis, indent besar
Rockwell	Cepat, langsung baca skala	Tidak bisa mikro, banyak skala berbeda
Vickers	Serbaguna (micro-macro), akurat, 1 indenter untuk semua material	Membutuhkan mikroskop untuk pengukuran

BAB 3

METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Adapun pelaksanaan waktu dan tempat dipenelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Pengujian dilaksanakan di laboratorium mekanika kekuatan material Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, Jl. Kapt. Mukhtar Basri No. 3 Medan, Sumatera Utara 20238.
2. Pengelasan dilaksanakan di Laboratorium Mesin politeknik Negeri Medan, Jln. Almamater No. 1 Kampus USU, Sumatera Utara 220155.

Tabel 3. 1 Kegiatan Penelitian

No.	Kegiatan	Waktu (Bulan)					
		1	2	3	4	5	6
1	Studi Literatur	■	■				
2	Pembuatan Proposal		■	■	■		
3	Persiapan Alat dan Bahan		■	■	■	■	
4	Pengujian dan Pengumpulan data			■	■	■	
5	Analisa Data				■	■	
6	Hasil Akhir dan Seminar					■	■
7	Sidang Sarjana					■	■

3.2 Alat dan Bahan

3.2.1 Alat Penelitian

1. Mesin Las

Mesin las merupakan komponen utama dalam proses pengelasan. Pada penelitian ini, mesin las yang digunakan bermerk Migatronic.



Gambar 3. 1 Mesin Las GMAW
[Sumber : Lab. Mesin Polmed]

2. Tang Amphere

Tang *amphere* digunakan untuk mengamati arus listrik aktual dari mesin las.



Gambar 3. 2 Tang Amphere
[Sumber : Lab. Mesin Polmed]

3. Gas Argon mix

Gas yang digunakan pada proses pengelasan adalah gas argon.



Gambar 3. 3 Gas Argon mix

[Sumber : Lab. Mesin Polmed]

4. Gerinda Tangan

Gerinda tangan digunakan untuk membuat kampuh las, memotong sampel pengujian, dan menghaluskan permukaan material.



Gambar 3. 4 Gerinda Tangan

[Sumber : Lab. Mesin Polmed]

5. Busur Derajat

Busur derajat digunakan untuk mengukur kemiringan dari kampuh yang dibuat.



Gambar 3. 5 Busur Derajat

[Sumber : Lab. Mesin Polmed]

6. Meteran

Meteran digunakan sebagai alat ukur untuk mengukur panjang, lebar, dan tebal benda kerja yang digunakan.



Gambar 3. 6 Meteran

[Sumber : Lab. Mesin Polmed]

7. Alat Pelindung Diri (APD)

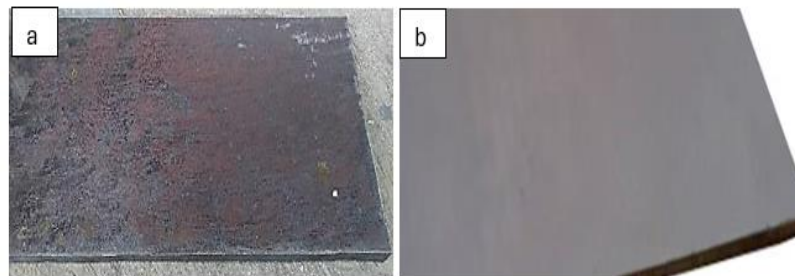
APD digunakan untuk melindungi diri saat proses persiapan material dan pengelasan guna menghindari kecelakaan kerja.



Gambar 3. 7 Alat Pelindung Diri
[Sumber : Lab. Mesin Polmed]

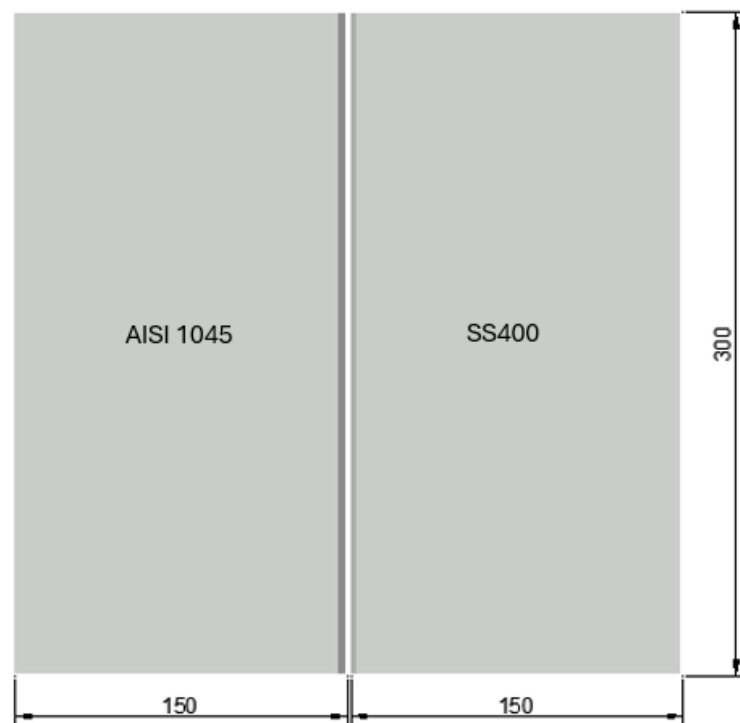
3.2.2 Bahan Penelitian

1. Plat AISI 1045 dan SS400

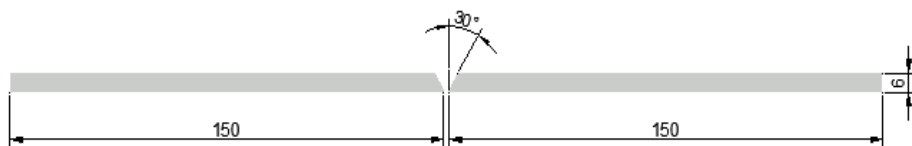


Gambar 3. 8 a) Plat SS400 dan b) AISI 1045
[Sumber : Foto Pribadi]

Dimensi yang digunakan berukuran 150 x 300 mm dengan ketebalan 8 mm untuk masing-masing sampel dengan batas alur las 150 mm pada setiap sampel. Untuk setiap sampel terdiri atas satu potong. Dan selanjutnya akan dibevel single V-groove dengan membuat alur kemiringan 30° pada masing-masing logam dasar. Setelah digabungkan terbentuk model V-groove dengan sudut alur 60° . Seperti pada gambar di bawah ini.



Gambar 3. 9 Bentuk Sampel Tampak Atas
[Sumber : Gambar Pribadi]



Gambar 3. 10 Bentuk Sampel Tampak Depan
[Sumber : Gambar Pribadi]

2. Kawat las

Pada pengelasan dua logam induk yang sama perlu pemilihan kawat las yang sesuai untuk memperoleh kualitas hasil las yang maksimal. Untuk pengelasan menggunakan kawat las ER70S-6.

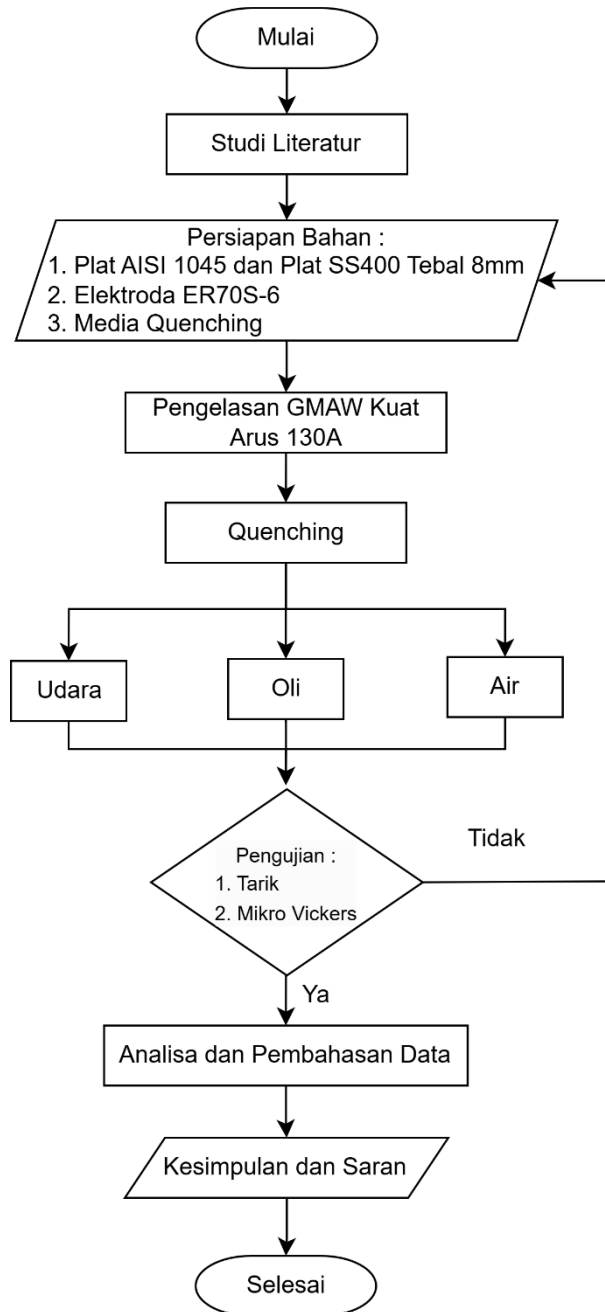
Tabel 3. 2 Komposisi Kimia Kawat Las ER70S-6 (*Deutsche Industrie Norman (DIN), n.d.*)

Grade	C	Mn	Si	P	S	Cr	Mo	Ni	Other
ER 309	0.02	1.8	0.51	0.02	0.01	23.7	0.04	13.9	0.06

Tabel 3. 3 *Mechanical Physical Properties ER70S-6 (Deutsche Industrie Norman (DIN), n.d.)*

	Yield Strength MPa	Tensile Strangth MPa	Elongation %	Ferrite Number
ER 309L	400	575	35	8

3.3 Bagan Alir penelitian



Gambar 3. 11 Bagan Alir Penelitian

Metode penelitian ini menggunakan metode kuantitatif, dimana data-data kuantitatif didapatkan dengan melakukan pengujian kekuatan tarik dan pengujian

kekerasan pada hasil pengelasan. Di bawah ini dijelaskan mengenai tahapan-tahapan penelitian mulai dari awal hingga akhir.

1. Studi Literatur

Langkah pertama dalam penyusunan Laporan Akhir ini adalah mengumpulkan literatur-literatur yang diperoleh dari Jurnal, Tugas Akhir, dan Buku yang relevan.

2. Menentukan Variabel Penelitian

Setelah memperoleh literatur yang relevan, kemudian ditentukan variabel seperti metode pengelasan, variasi kuat arus, dan jenis logam pengisi yang digunakan serta menentukan pengujian yang dilakukan.

3. Persiapan Alat dan Bahan

Pada tahap ini dilakukan persiapan segala sesuatu yang dibutuhkan, mulai dari persiapan material, alat yang digunakan, serta proses pengujian yang akan dilakukan.

4. Proses Pengelasan GMAW Menggunakan elektroda ER70S-6.

Proses pengelasan dilakukan dengan standar yang telah ditetapkan.

5. Pembuatan Sampel Uji

Setelah proses pengelasan, kemudian material dipotong sesuai dengan standar untuk pengujian tarik dan kekerasan.

6. Pengujian Tarik dan Kekerasan

Material yang sudah dipotong kemudian diuji kekuatan tarik dan kekerasannya. Pengujian tarik berfungsi untuk mengetahui nilai kekuatan dari hasil sambungan las. Sedangkan uji kekerasan berfungsi untuk mengetahui beda nilai kekerasan antara *weld area*, *HAZ*, dan *base material*.

7. Analisa Data, Pembahasan, dan Kesimpulan

Analisa data dan pembahasan dilakukan setelah memperoleh nilai dari pengujian kekuatan tarik dan kekerasan material. Data yang telah diperoleh kemudian dibuat dalam bentuk tabel dan grafik. Setelah data tersebut dianalisa, kemudian diambil kesimpulan dari data tersebut.

3.4 Rancangan Alat Penelitian

1. Mesin Uji Tarik

Uji tarik dilakukan menggunakan UTM (*Universal Testing Machine*) yang berada di Laboratorium Teknik Mesin Politeknik Negeri Medan.



Gambar 3. 12 Mesin UTM (*Universal Testing Machine*)

[Sumber : Lab. Mesin Polmed Merk TARNO]

Keterangan :

- | | |
|-------------------|----------------------------------|
| 1. Rahang Penarik | 4. Jarum Kalibrasi (Nol) |
| 2. Tiang | 5. Pembaca Tegangan dan Regangan |
| 3. Selang Fluida | 6. Pengatur Beban |

2. Uji Mikro Vickers

Pengujian kekerasan ini dilakukan dengan menggunakan mesin Vickers FM800



Gambar 3. 13 Mesin Uji Vickers FM800

[Sumber : Lab. Mesin Polmed]

3.5 Prosedur Penelitian

Berikut pengujian yang dilakukan dalam penelitian ini, yaitu :

1. Persiapan Material

- a. Bersihkan permukaan material dari minyak, karat, lapisan oksida, serta dari kotoran lainnya. Kebersihan permukaan material akan mempengaruhi hasil pengelasan.

2. Persiapan Mesin

- a. Pastikan parameter pengelasan sudah sesuai dengan logam yang akan di las.
- b. Pastikan laju aliran gas sudah sesuai dengan kebutuhan pengelasan.
- c. Runcingkan Tungsten lalu masukkan Tungsten ke dalam *welding torch*.

3. Proses Pengelasan

- a. Posisikan material sesuai dengan desain yang diinginkan, lakukan pengelasan dengan cara mendekatkan ujung Tungsten pada permukaan material lalu tekan tombol untuk menyalakan busur las. Lakukan *tack weld* pada kedua ujung material untuk menghindari ketidaksejajaran material dasar.
- b. Setelah material di-*tack weld*, lanjutkan pengelasan dengan menyalakan busur las lalu gerakkan Tungsten secara perlahan dan tambahkan *filler* ke daerah las untuk mengisi celah dan membentuk sambungan.
- c. Selama proses pengelasan, kendalikan panas yang dihasilkan guna menghindari distorsi dan deformasi pada material.
- d. Setelah proses pengelasan selesai, biarkan material mendingin perlahan.
- e. Lakukan pemeriksaan secara visual untuk memeriksa apakah sambungan sudah memenuhi standar kualitas yang diinginkan.

4. Uji Tarik (*Tensile Test*)

Pengujian tarik berfungsi untuk mengetahui perubahan kekuatan tarik dari material yang telah melalui proses pengelasan. Pengujian tarik pada spesimen hasil pengelasan dilakukan sesuai standar ASTM-E8. Spesimen uji dibuat dengan menggunakan mesin milling agar memperoleh hasil yang lebih rapi dan menghemat waktu. Pengujian tarik dilakukan di Laboratorium Teknik Mesin Politeknik Negeri Medan.

Berikut langkah-langkah pengujian tarik :

- a. Menandai bahan kerja las GMAW dalam hal ini untuk mengetahui dimensi yang akan di inputkan ke mesin
- b. Menentukan beban yang digunakan yaitu 10000 N, kemudian menentukan panjang total dan lebar benda
- c. Nyalakan saklar power utama sehingga lampu indicator menyala
- d. Pastikan handle load kontrol pada posisi stop
- e. Letakkan alat bantu pada permukaan alat uji dan pelat penahan
- f. Pastikan pencekam pada lower crosshead dan naikan lower crosshead dengan menekan tombol up crosshead sehingga dapat mencekam benda uji tarik dengan baik
- g. Atur kecepatan pembebanan
- h. Jarum indikator beban akan bergerak terus hingga mencapai titik max load dari benda uji yang diuji kemudian mengalami penurunan dan putusya benda kerja
- i. Cacat pembebanan dan pertambahan panjang
- j. Kemudian lepaskan benda uji dari tempat pencekam

5. Uji kekerasan Vickers

Langkah-langkah uji kekerasan dengan metode vickers adalah sebagai berikut:

- a. Permukaan spesimen di polis sehingga menjadi halus dan dibersihkan.
- b. Letakan spesimen pada alat uji kekerasan.
- c. Beban yang digunakan adalah 100 kgf dengan waktu indentasi 10 detik.
- d. Pengenaan indentor ke permukaan spesimen.
- e. Mengukur diagonal indentasi dengan mikroskop dan menghitung nilai kekerasannya sesuai rumus.

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.4 Pengujian Kekuatan Mekanik Material

Pada bab ini disajikan hasil pengujian sifat mekanik material setelah pengelasan dengan kuat Arus 130A kemudian dilakukan proses *quenching* menggunakan tiga media pendingin yang berbeda yaitu air, udara, dan oli. Dua jenis pengujian utama yang dilakukan adalah pengujian tarik dan pengujian kekerasan. Material yang digunakan dalam pengujian ini adalah baja AISI 1045 dan SS400 setelah dilakukan penyambungan dengan proses pengelasan *GMAW*. Setiap jenis baja diuji pada tiga zona utama sambungan las yaitu *Base Metal*, *Heat Affected Zone (HAZ)*, Dan *Weld Area*.

4.5 Pengujian Tarik

Pada dasarnya peneliti mengacu pada standart ASTM E8, pengujian tarik dilakukan pada benda hasil pengelasan baja SS400 dan baja AISI 1045 dengan variasi kuat arus yang sama. Setelah dilakukan pengujian tarik didapatkan hasil data beban tarik dan pertambahan panjang atau elongasi. Dari data tersebut dapat menghitung kekuatan tarik, regangan, dan modulus elastisitas dari setiap benda uji.

4.5.1 Hasil Pengujian Tarik

Pengujian tarik dilakukan untuk mengetahui nilai kekuatan luluh/yield strenght, kekuatan tarik maksimum dan regangan dari material baja SS400 dan baja AISI 1045 dengan variasi Pendingin air, oli, dan udara.

Data hasil pengujian tarik dapat dilihat pada tabel 4.1 berikut ini:

Tabel 4. 1 Hasil Pengujian Tarik

No.	Kode Spesimen	Lebar (W)	Tebal (T)	Luas (A)	Panjang Awal (Lo)	Panjang Akhir (Li)	Perubahan Panjang (aL)	Fy	Fu	Ty	Tu	e
		mm	mm	mm ²	mm	mm	mm	N	N	N/mm ²	N/mm ²	%
air	1	14.20	6.00	85.20	76.87	87.54	10.67	41.500	66.800	487.09	784.04	13.88
	2	14.38	6.00	86.28	71.51	82.25	10.74	38.200	58.600	442.74	679.18	15.02
Rata-rata										464.92	731.61	14.45
udara	1	14.43	6.00	86.58	71.73	83.72	11.99	40.800	60.000	471.24	693.00	16.72
	2	14.80	6.00	88.80	70.99	86.76	15.77	41.800	59.000	470.72	664.41	22.21
Rata-rata										470.98	678.70	27.82
oli	1	14.34	6.00	86.04	80.67	90.49	9.82	45.400	52.600	527.66	611.34	12.17
	2	13.84	6.00	83.04	83.56	97.71	14.15	44.200	65.600	532.27	789.98	16.93
Rata-rata										529.96	700.66	20.64

Sumber: Hasil Pengujian

keterangan: Gravitasi, $g = 9,81 \text{ m/s}^2$, $F_y = \text{gaya luluh}$, $F_u = \text{gaya maks}$
 $\sigma_y = \text{tegangan luluh}$, $\sigma_u = \text{tegangan tarik}$, $\varepsilon = \text{regangan}$.

Perhitungan untuk **tegangan luluh** dengan menggunakan persamaan 2.1 untuk sampel pertama pada proses *Quenching* air.

$$\sigma_y = \frac{F}{A} \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

$$\sigma_y = \frac{41.500 \text{ N}}{85.20 \text{ mm}^2} = 487.08 \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

Perhitungan untuk **tegangan tarik** dengan menggunakan persamaan 2.1 untuk sampel pertama pada proses *Quenching* air.

$$\sigma_y = \frac{F}{A} \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

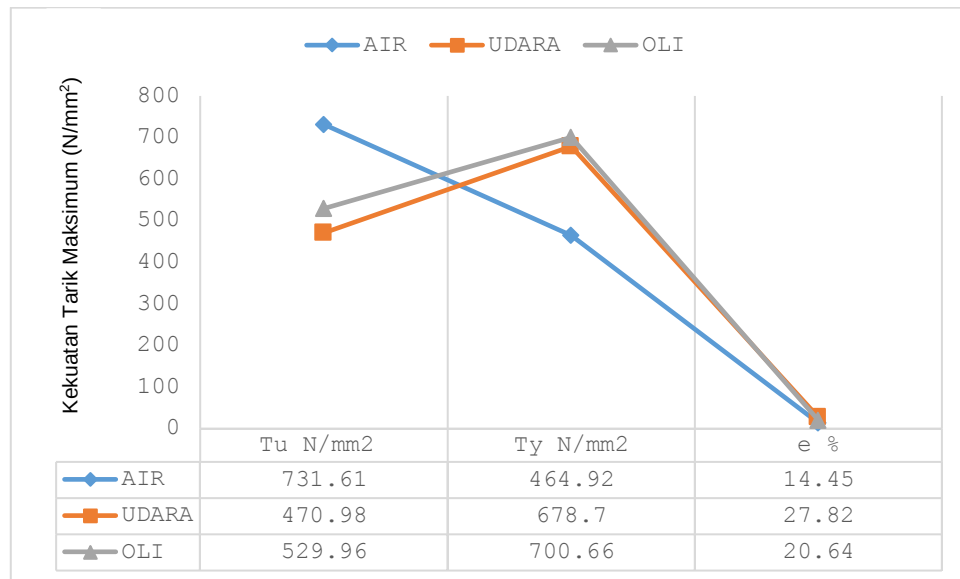
$$\sigma_u = \frac{66.800 \text{ N}}{85.20 \text{ mm}^2} = 784.03 \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

Perhitungan untuk **regangan** dengan menggunakan persamaan 2.2 untuk sampel pertama pada proses *Quenching* air.

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} \times 100\%$$

$$\varepsilon = \frac{10.67}{76.87} \times 100\% = 13.88 \%$$

Berdasarkan pada hasil pengujian diatas maka diperoleh beban maksimum rata-rata sebagaimana grafik dibawah ini.



Gambar 4. 1 Grafik Rata-Rata Pengujian Tarik

Gambar di atas menunjukkan perbandingan sifat mekanik material hasil perlakuan panas (*quenching*) menggunakan tiga jenis media pendingin yang berbeda yaitu air, udara, dan oli. Parameter yang dianalisis dalam grafik tersebut meliputi kuat tarik maksimum (*Ultimate Tensile Strength/Tu*), kuat luluh (*Yield Strength/Ty*), dan elongasi (*e%*) sebagai indikator keuletan material. Setiap media memberikan hasil yang berbeda terhadap sifat mekanik material bergantung pada laju pendinginan yang dihasilkan selama proses *quenching*.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa media air menghasilkan nilai kuat tarik maksimum (*Tu*) tertinggi yaitu sebesar 731,61 N/mm², yang menandakan bahwa material memiliki kemampuan menahan beban maksimum yang sangat baik sebelum mengalami patah. Namun demikian, kuat luluh (*Ty*) yang dihasilkan justru paling rendah yaitu 464,92 N/mm², serta nilai elongasi (*e%*) juga paling kecil yaitu hanya 14,45%. Nilai elongasi yang rendah ini menunjukkan bahwa material menjadi getas dan memiliki kemampuan deformasi plastis yang sangat terbatas. Oleh karena itu, meskipun air mampu meningkatkan kekerasan material penggunaannya berisiko tinggi terhadap retak atau kegagalan rapuh jika tidak diimbangi dengan tempering yang sesuai. Pendinginan cepat dengan air menghasilkan kekuatan tarik (*tensile strength*) jauh lebih tinggi dibandingkan

dengan *quenching* menggunakan oli. Hal ini disebabkan oleh pendinginan yang sangat cepat sehingga membentuk struktur mikro martensit secara dominan (BR & CM, 2017).

Sementara itu, media udara menunjukkan tren yang berbanding terbalik. Nilai kuat tarik maksimum (T_u) yang dihasilkan paling rendah yaitu $470,98 \text{ N/mm}^2$, namun kuat luluhnya relatif tinggi yaitu $678,7 \text{ N/mm}^2$, dan elongasi mencapai 27,82% tertinggi di antara ketiga media. Hal ini menunjukkan bahwa material hasil *quenching* dengan udara memiliki keuletan dan deformabilitas plastis yang tinggi meskipun tidak sekuat material yang di *quenching* dengan air atau oli. Pendinginan yang lambat pada media udara memungkinkan terbentuknya struktur mikro ferrit dan pearlit yang memberikan sifat mekanik yang lebih lunak namun lebih ulet. metode pendinginan seperti udara menghasilkan struktur mikro yang homogen, dengan partikel sementit tersebar merata dalam matriks ferrit menghasilkan kombinasi kekuatan dan keuletan yang lebih baik dibanding pendinginan yang cepat (Li et al., 2019).

Adapun media oli memberikan hasil yang paling seimbang antara kekuatan dan keuletan. Nilai kuat tarik maksimum yang diperoleh adalah $529,96 \text{ N/mm}^2$, dengan kuat luluh tertinggi sebesar $700,66 \text{ N/mm}^2$ serta elongasi sebesar 20,64%. Pendinginan yang sedang pada media ini menghasilkan struktur mikro campuran antara martensit dan bainit yang berkontribusi terhadap kekuatan tinggi namun tetap menjaga keuletan pada tingkat yang memadai. Oleh karena itu, penggunaan media oli dalam proses *quenching* sering dianggap paling optimal untuk komponen teknik yang memerlukan kombinasi sifat mekanik yang baik (Nota et al., 2025).

Hasil pengujian menunjukkan dengan jelas bahwa pemilihan media *quenching* sangat memengaruhi sifat mekanik akhir material. Media air memberikan kekuatan maksimum namun menurunkan keuletan secara drastis. Sebaliknya udara meningkatkan keuletan namun mengorbankan kekuatan. Media oli menjadi media yang baik dengan memberikan nilai kekuatan dan keuletan yang seimbang. Dengan demikian, pemilihan media *quenching* harus disesuaikan dengan kebutuhan aplikasi dari material tersebut apakah lebih menekankan pada kekuatan, keuletan, atau keduanya secara bersamaan.



Gambar 4. 2 Hasil Pengujian Tarik

4.5.2 Hasil Pengujian Kekerasan (*Vickers Hardness Test*)

Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengetahui tingkat kekerasan suatu benda ketika diberikan pembebanan selain itu dalam hal ini pengujian kekerasan juga bertujuan untuk melihat perbedaan nilai kekerasan disetiap daerahnya. Adapun pada pengujian kekerasan ini digunakan metode *Vickers Hardness Test* dimana dilakukan pada 10 titik yang meliputi daerah-daerah sebagai berikut; 2 titik *Weld Metal*, 2 titik HAZ (*Heat Affected Zone*) SS400, titik *Base Metal* SS400, 2 titik HAZ (*Heat Affected Zone*) AISI 1045, dan titik *Base Metal* AISI 1045. Sama halnya dengan pengamatan struktur mikro, terlebih dahulu spesimen uji harus di poles dengan menggunakan kertas amplas guna mempermudah pengamatan daerah-daerah las-lasan seperti yang telah dijelaskan di sebelumnya. Data hasil pengujian tarik dapat dilihat pada tabel 4.2 berikut ini:



Gambar 4. 3 Titik Pengujian Kekerasan

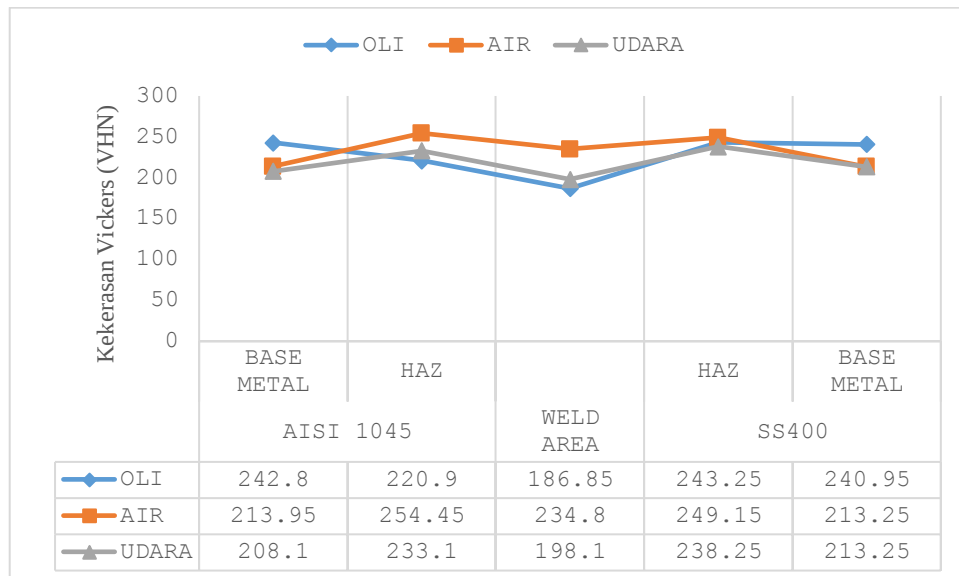


Gambar 4. 4 Spesimen Uji Kekerasan

Tabel 4. 2 Hasil Pengujian Kekerasan

Sampel			Titik	Beban Penekanan (gf)	Angka Kekerasan Vickers	Rata-rata Kekerasan (VHN)
OLI	BM	AISI 1045	1	500	238,9	242,8
			2		246,7	
		SS400	1	500	247,2	240,95
			2		234,7	
	HAZ	AISI 1045	1	500	227,1	220,9
			2		214,7	
		SS400	1	500	247,2	243,25
			2		239,3	
	WA		1	500	191,1	186,85
			2		182,6	
UDARA	BM	AISI 1045	1	500	201,5	208,1
			2		214,7	
		SS400	1	500	217,2	213,25
			2		209,3	
	HAZ	AISI 1045	1	500	241,5	233,1
			2		224,7	
		SS400	1	500	237,2	238,25
			2		239,3	
	WA		1	500	201,5	198,1
			2		194,7	
AIR	BM	AISI 1045	1	500	213,2	213,95
			2		214,7	
		SS400	1	500	207,2	213,25
			2		219,3	
	HAZ	AISI 1045	1	500	274,2	284,45
			2		294,7	
		SS400	1	500	250,0	249,15
			2		248,3	
	WA		1	500	238,5	234,8
			2		231,1	

Berdasarkan pada hasil pengujian diatas maka diperoleh kekerasan rata-rata sebagaimana grafik dibawah ini.



Pada baja AISI 1045 nilai kekerasan tertinggi pada *base metal* dicapai oleh media oli sebesar 242,8 VHN diikuti oleh air 213,95 VHN, dan udara 208,1 VHN. Sementara itu pada zona *HAZ* nilai kekerasan tertinggi dicapai oleh media air yaitu

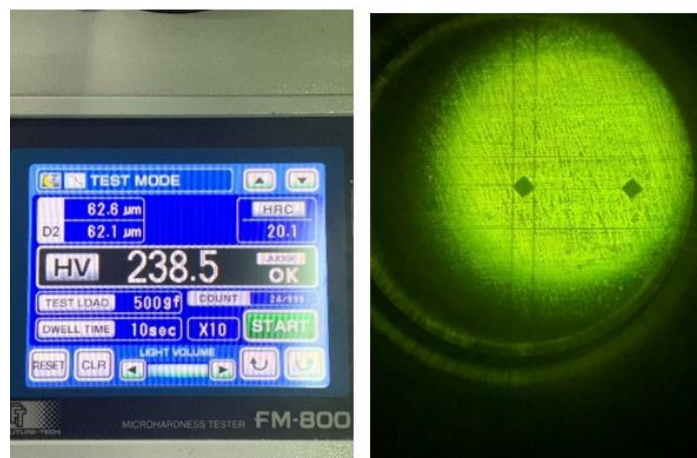
sebesar 254,45 VHN disusul oleh udara 233,1 VHN dan oli 220,9 VHN. Pada *weld area* nilai kekerasan tertinggi juga dihasilkan oleh media air yaitu sebesar 234,8 VHN kemudian oleh udara 198,1 VHN, dan oli 186,85 VHN.

Untuk material SS400 hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai kekerasan pada *HAZ* tertinggi diperoleh dari media air 249,15 VHN diikuti oleh oli 243,25 VHN dan udara 238,25 VHN. Pada base metal nilai kekerasan tertinggi dihasilkan oleh media oli 240,95 VHN, sedangkan air dan udara menghasilkan nilai kekerasan yang sama yaitu 213,25 VHN.

Dari hasil pengujian memperlihatkan bahwa media air menghasilkan nilai kekerasan tertinggi pada zona *HAZ* dan *weld area* terutama untuk baja AISI 1045. Pendinginan cepat menyebabkan transformasi *fasa austenit* menjadi martensit secara dominan yang meningkatkan kekerasan secara drastis. Namun demikian, peningkatan kekerasan ini sering kali disertai oleh menurunnya keuletan dan peningkatan risiko retak (Parmita et al., 2024).

Media udara menghasilkan nilai kekerasan terendah di hampir seluruh area baik pada AISI 1045 maupun SS400. Ini menunjukkan bahwa pendinginan lambat menghasilkan struktur mikro seperti pearlite dan ferrite yang bersifat lebih lunak namun lebih ulet (Li et al., 2020).

Media oli menghasilkan nilai kekerasan menengah yang cenderung stabil di semua area. Hal ini mengindikasikan bahwa oli sebagai media quenching memiliki kemampuan menyeimbangkan antara kekerasan dan keuletan menjadikannya pilihan yang aman untuk mencegah cacat struktural seperti retak atau distorsi berlebih (Kolawole et al., 2023).



Gambar 4. 5 Hasil Pengujian Kekerasan

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

1. Pengaruh Media Quenching Terhadap Uji Tarik

Pendinginan dengan air menghasilkan T_u tertinggi 731,61 N/mm² dan kekerasan maksimal pada *HAZ* serta weld area namun material menjadi getas. Udara memberi T_u terendah 470,98 N/mm² tetapi elongasi tertinggi 27,82% sehingga paling ulet. Oli menunjukkan kombinasi terbaik dengan T_u 529,96 N/mm², T_y tertinggi 700,66 N/mm², elongasi 20,64%.

2. Pengaruh Media Quenching Terhadap Kekerasan

Pada AISI 1045 kekerasan *base metal* tertinggi dicapai dengan oli 242,8 VHN, sedangkan *HAZ* dan *weld area* tertinggi dengan air 254,45 VHN dan 234,8 VHN. Pada SS400 *base metal* tertinggi juga dengan oli 240,95 VHN, sementara *HAZ* tertinggi dengan air 249,15 VHN. Media udara memberikan kekerasan terendah di hampir semua zona.

5.2 Saran

1. Untuk pendinginan cepat seperti pada media air disarankan melakukan *preheating* dan *tempering* setelah *quenching* untuk meminimalkan tegangan sisa.
2. pemilihan media pendingin harus disesuaikan dengan kebutuhan aplikasi komponen mempertimbangkan prioritas antara kekuatan, keuletan, dan kekerasan yang diinginkan.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. (2014). *Farmakope Indonesia, Edisi V, 847-854, 999, 1037, Departemen Kesehatan Republik Indonesia, Jakarta.*
- ASTM. A106-99. (1999). *Standard Specification for Seamless Carbon Steel Pipe for High Temperature Service.*
- ASTM. (n.d.). Buku panduan uji tarik logam. 2020.
- BR, C., & CM, R. (2017). Evaluation of Mechanical Properties of Medium Carbon Low Alloy Forged Steels Quenched in Water, Oil and Polymer. *Journal of Material Science & Engineering*, 06(02), 859–862. <https://doi.org/10.4172/2169-0022.1000320>
- Cavaliere, P. (2009). “*Hardness measurements by Vickers, Brinell and Rockwell methods: Influence on mechanical properties of materials.*” *Journal of Materials Science. Springer.*
- Deutsche Industrie Norman (DIN). (n.d.). *Definisi dan Standar Proses Las.*
- Gonz, C., Santos-ortega, J. L., Fraile-garc, E., & Ferreiro-cabello, J. (2023). *and SMAW Welding Processes.*
- International Organization for Standardization (ISO). ISO 5173: (n.d.). *Destructive Tests on Welds in Metallic Materials.*
- Khan, M. I. (2007). *Welding Science and Technology. New age international (P) limited, publisher.*
- Kolawole, M. Y., Aliyu, S. A., Bello, S. A., Oladosu, K. O., & Owoeye, I. J. (2023). Effect of bio-mineral oil blend quenchant on the mechanical properties of carburized mild-steel. *Journal of Engineering and Applied Science*, 70(1), 88. <https://doi.org/10.1186/s44147-023-00263-z>
- Kou, S. (2003). *Welding metallurgy (2nd ed.). Wiley-Interscience.*
- Li, H. Bin, Fan, L., & Chen, L. S. (2019). Effect of temperature scheme on microstructure and mechanical properties during medium carbon steel warm

- processings. *Metals*, 9(1), 1–12. <https://doi.org/10.3390/met9010077>
- Li, H., Fan, L., Chen, L., & Jia, L. (2020). Effect of cooling mode on the microstructure and mechanical properties of medium carbon steel after warm rolling. *Ironmaking \& Steelmaking*, 47(9), 1022–1028. <https://doi.org/10.1080/03019233.2019.1665908>
- Maghfiroh, M. R., Soebiyakto, G., & Farid, A. (2019). Analisa Pengaruh Variasi Media Pendingin Air Dan Oli Pada Sambungan Lap Joint Terhadap Sifat Mekanik Menggunakan Las SMAW. *Proton*, 11(1), 35–42.
- Nota, N. A. S., Azis, A., Budianti, S. I., & Sampurno, C. B. K. (2025). Pengaruh proses quenching dengan variasi media pendingin terhadap sifat mekanik dan struktur mikro baja AISI 1045. *Perwira Journal of Science & Engineering*, 5(1), 140–144. <https://doi.org/10.54199/pjse.v5i1.493>
- Nova, A., Herdianto, T., & Rosidah, A. A. (2024). *Effect of Welding Current and Electrode Movement on HAZ Width and Hardness of TIG Welded 304 Stainless Steel*. 1–6.
- Nugraha, A. P., Fadelan, F., & Winardi, Y. (2020). Pengaruh Media Pendingin Pada Pengelasan Dissimilar Baja Aisi 1045 Dengan Ss 202 Menggunakan Pengelasan Smaw. *Komputek*, 4(1), 27. <https://doi.org/10.24269/jkt.v4i1.348>
- Parmita, A. Y. P., Utomo, Y. M. P., Rakhmat, A. M., & Lubis, M. P. D. (2024). Mechanical Properties of Steel Aisi 1045 Variation of Austenitization Holding Time in the Quenching-Tempering Process With Ice Water Media. *Jurnal Rekayasa Mesin*, 15(1), 425–432. <https://doi.org/10.21776/jrm.v15i1.1647>
- Planckaert. (2010). Modeling of MIG/MAG welding with experimental validation using an active contour algorithm applied on high speed movies, *Applied Mathematical Modelling*,. 34, Pp. 1004–1020,.
- Popović, O., Prokić-Cvetković, R., Burzić, M., & Milutinović, Z. (2010). The Effect of Heat Input on the Weld Metal Toughness of Surface Welded Joint. *14th International Research/Expert Conference "Trends in the Development of Machinery and Associated Technology"*, September, 61–64.

<http://www.tmt.unze.ba/zbornik/TMT2010/016-TMT10-227.pdf>

- Pratiwi, Y. R., & Wibowo, S. S. (2019). Pengaruh Jenis Elektroda Dan Jumlah Pass Terhadap Uji Kekerasan Hasil Pengelasan Dan Struktur Mikro Pada Proses Pengelasan Shielded Metal Arch Welding. *Briliant: Jurnal Riset Dan Konseptual*, 4(2), 159. <https://doi.org/10.28926/briliant.v4i2.287>
- Saputro, B. H., & Drastiawati, N. S. (2023). PENGARUH VARIASI MEDIA PENDINGIN DALAM PROSES PWHT PENGELASAN SMAW UNTUK MATERIAL BAJA SS400 TERHADAP NILAI KEKERASAN DAN KEKUATAN TARIK Canggih Wahyunanta Novi Sukma Drastiawati Abstrak. *Jurnal Teknik Mesin Unesa*, 12(01), 21–28.
- Setiawan, E. A., & Rosidah, A. A. (2023). Pengaruh Variasi Posisi Pengelasan dan Diameter Elektroda pada Pengelasan Logam Tak Sejenis AISI 304 – ST42 terhadap Kekuatan Tarik dan Lebar HAZ. *Jurnal Teknik Mesin*, 20(1), 1–4. <https://doi.org/10.9744/jtm.20.1.1-4>
- Siddiq, M., Nurdin, & Amalia, I. (2019). Pengaruh jenis kampuh terhadap ketangguhan sambungan pengelasan material St37 dengan AISI 1050 menggunakan proses SMAW. *Journal of Welding Technology*, 1(1), 11–16.
- Silva, C. et al. (2008). *Microstructural characterization of the HAZ in multipass welds of high strength steels. Materials Characterization*, 59(10), 1342–1352. <https://doi.org/10.1016/j.matchar.2007.11.006>.
- Siswanto, R. (2018). Teknologi Pengelasan. *Teknik Mesin Univeristas Lambung Mangkurat*, 1–20.
- Suheni, Rosidah, A. A., Ramadhan, D. P., Agustino, T., & Wiranata, F. F. (2021). Effect of Welding Groove and Electrode Variation to the Tensile Strength and Macrostructure on 304 Stainless Steel and AISI 1045 Dissimilar Welding Joint Using SMAW Process. *Journal of Physics: Conference Series*, 2117(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2117/1/012018>
- Surakarta, U. M. (2012). *Penelitian stainless steel 202 hasil las smaw dengan post weld heat treatment 900*. 1–15.

T. O. Harsono Wiryosumarto. (1981). *Teknologi pengelasan logam*. Pradnya Paramita.

Wiryosumarto. (2000). *Teknologi Pengelasan Logam*. PT. Pradya Paramita.

LAMPIRAN

Lampiran 1 Proses Pengelasan

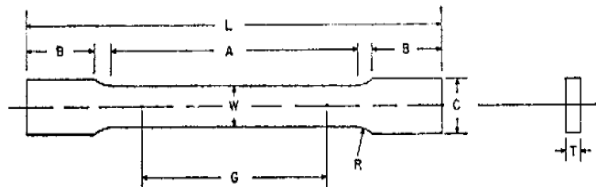


Lampiran 2 Quenching setelah pengelasan



Lampiran 3 Pembuatan Sampel Uji Tarik

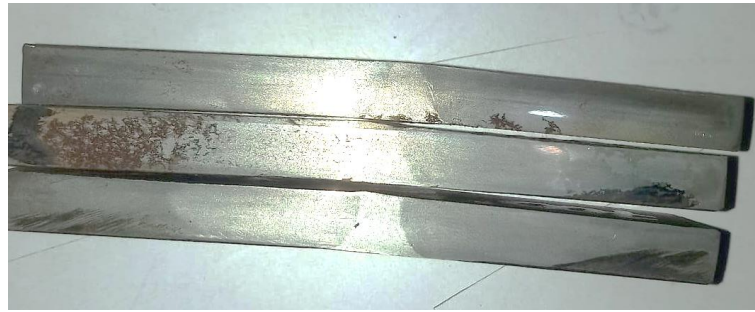
 E8/E8M – 09



	Dimensions		
	Standard Specimens		Subsize Specimen
	Plate-Type, 40 mm [1.500 in.] Wide	Sheet-Type, 12.5 mm [0.500 in.] Wide	6 mm [0.250 in.] Wide
	mm [in.]	mm [in.]	mm [in.]
G—Gage length (Note 1 and Note 2)	200.0 ± 0.2 [8.00 ± 0.01]	50.0 ± 0.1 [2.000 ± 0.005]	25.0 ± 0.1 [1.000 ± 0.003]
W—Width (Note 3 and Note 4)	40.0 ± 2.0 [1.500 ± 0.125, -0.250]	12.5 ± 0.2 [0.500 ± 0.010]	6.0 ± 0.1 [0.250 ± 0.005]
T—Thickness (Note 5)		thickness of material	
R—Radius of fillet, min (Note 6)	25 [1]	12.5 [0.500]	6 [0.250]
L—Overall length, min (Note 2, Note 7, and Note 8)	450 [18]	200 [8]	100 [4]
A—Length of reduced section, min	225 [9]	57 [2.25]	32 [1.25]
B—Length of grip section, min (Note 9)	75 [3]	50 [2]	30 [1.25]
C—Width of grip section, approximate (Note 4 and Note 9)	50 [2]	20 [0.750]	10 [0.375]



Lampiran 4 Pembuatan Sampel Uji Vickers



Lampiran 5 Pengujian Tarik dan Micro Vickers



Lampiran 6 Sampel Hasil Pengujian Tarik



Lampiran 7 Tabel Hasil Pengujian Tarik



Nama Mahasiswa : Sopyan Mangaloksa Hutabarat

Tanggal uji : 01 September 2025

No	Kode Spesimen	Lebar (W) mm	Tebal (T) mm	Luas (A) mm ²	Panjang Awal (Lo) mm	Panjang Akhir (Li) mm	Perubahan Panjang (ΔL) mm	Fy N	Fu N	Ty N/mm ²	Tu N/mm ²	e %	Ket
UDARA	1	14,20	6,00	85,20	76,87	87,54	10,67	41.500	66.800	487,09	784,04	13,88	Retak Diluar Lasana
	2	14,38	6,00	86,28	71,51	82,25	10,74	38.200	58.600	442,74	679,18	15,02	Retak Diluar Lasana
Rata - Rata													
OU	1	14,43	6,00	86,58	71,73	83,72	11,99	40.800	60.000	471,24	693,00	16,72	Retak Di area Lasan
	2	14,80	6,00	88,80	70,99	86,76	15,77	41.800	59.000	470,72	664,41	22,21	Retak Diluar Lasana
Rata - Rata													
AIR	1	14,34	6,00	86,04	80,67	90,49	9,82	45.400	52.600	527,66	611,34	12,17	Retak Diluar Lasana
	2	13,84	6,00	83,04	83,56	97,71	14,15	44.200	65.600	532,27	789,98	16,93	Retak Diluar Lasana
Rata - Rata													
									85400	529,9676	700,6621	20,64002	

Kecepatan : Gravitasi, $g = 9,81 \text{ m/s}^2$, $F_y = \text{gayatubuh}$, $F_u = \text{gayatmaks}$
 $\sigma_y = \text{tegangan luluh}$, $\sigma_u = \text{tegangan tarik}$, $e = \text{regangan}$

Penguji,

Edy Pranata Tarigan

Lampiran 8 Tabel Hasil Pengujian *Mickro Vickers*



Designation: E 92 – 82 (Reapproved 1997)¹

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS
1100 Bar Harbor Dr., West Conshohocken, PA 19380
Reprinted from the Annual Book of ASTM Standards. Copyright ASTM

Standard Test Method for Vickers Hardness of Metallic Materials¹

This standard is issued under the fixed designation E 92; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last approval. A superscript number (1) indicates an editorial change since the last revision or approval.

This standard has been approved for use by agencies of the Department of Defense. Consult the DoD Index of Specifications and Standards for the specific year of issue which has been adopted by the Department of Defense.

¹ NOTE—Section 27 was added editorially in October 1997.

1. Scope

1.1 This test method covers the determination of the Vickers hardness of metallic materials, using applied loads of 1 kgf to 120 kgf,² the verification of Vickers hardness testing machines (Part B), and the calibration of standardized hardness test blocks (Part C). Two general classes of standard tests are recognized:

1.1.1 *Verification, Laboratory, or Reference Tests*, where a high degree of accuracy is required.

1.1.2 *Routine Tests*, where a somewhat lower degree of accuracy is permissible.

1.2 This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:

E 4 Practices for Force Verification of Testing Machines³

E 140 Hardness Conversion Tables for Metals (Relationship Between Brinell Hardness, Vickers Hardness, Rockwell Hardness, Rockwell Superficial Hardness, Knoop Hardness, and Scleroscope Hardness)³

E 384 Test Method for Microhardness of Materials³

3. Terminology

3.1 *Vickers hardness number, HV*—a number related to the applied load and the surface area of the permanent impression made by a square-based pyramidal diamond indenter having included face angles of 136° (see Fig. 1 and Table 1), computed from the equation:

$$HV = 2P \sin(\alpha/2) / d^2 = 1.8544P / d^2$$

where:

P = load, kgf,

d = mean diagonal of impression, mm, and

α = face angle of diamond = 136°.

3.2 *Vickers hardness test*—an indentation hardness test

using calibrated machines to force a square-based pyramidal diamond indenter having specified face angles, under a predetermined load, into the surface of the material under test and to measure the diagonals of the resulting impression after removal of the load.

3.2.1 Vickers hardness tests are made at test loads of 1 kgf to 120 kgf.

3.2.2 For practical purposes the Vickers hardness number is constant when a square-based diamond pyramid with a face angle of 136° is used with applied loads of 5 kgf and higher. At lower test loads the Vickers hardness may be load-dependent. In Table 2 are given the Vickers hardness numbers for a test load of 1 kgf. For obtaining hardness numbers when other test loads are used, the Vickers hardness number obtained from Table 2 is multiplied by the test load in kilograms-force (Table 3).

NOTE 1—The Vickers hardness number is followed by the symbol HV with a suffix number denoting the load and second suffix number indicating the duration of loading when the latter differs from 10 to 15 s, which is the normal loading time.

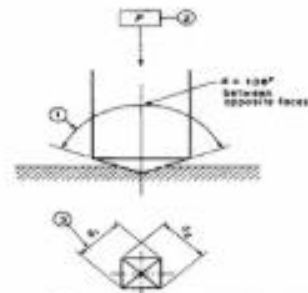


FIG. 1 Vickers Hardness Test (see Table 1)

TABLE 1 Symbols and Designations Associated with Fig. 1

Number	Symbol	Designation
1	...	Angle at the vertex of the pyramidal indenter (136°)
2	P	Test load in kilograms-force
3	d	Arithmetic mean of the two diagonals d_1 and d_2

¹ This test method is under the jurisdiction of ASTM Committee E-28 on Mechanical Testing and is the direct responsibility of Subcommittee E28.06 on Indentation Hardness Testing.

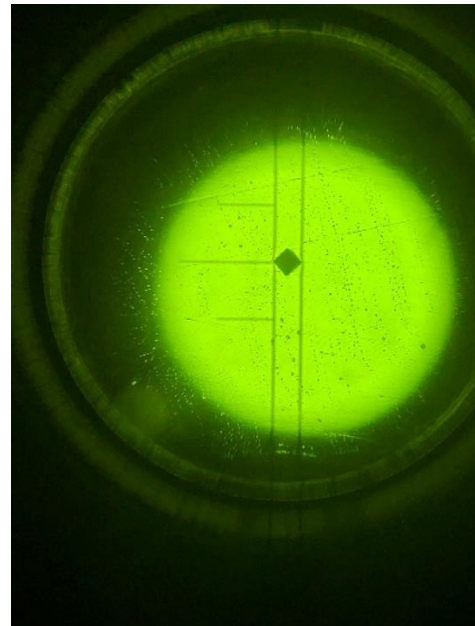
Current edition approved July 30, 1997. Published December 1997. Originally published as E 92 – 32 Y. Last previous edition E 92 – 72 (1977).

² A procedure covering Vickers tests using applied loads of 1 gf to 1000 gf (1 kgf) may be found in Test Method E 384, Test Method for Microhardness of Materials, appearing in the Annual Book of ASTM Standards, Vol 03.03.

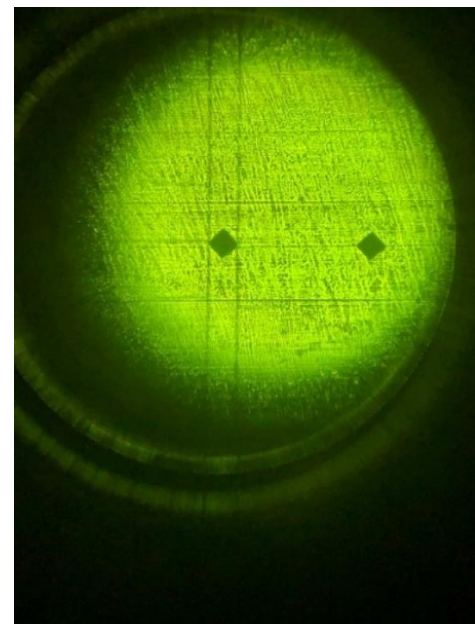
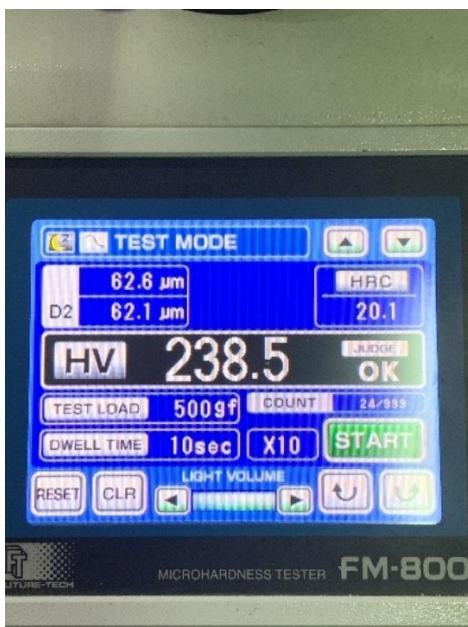
³ Annual Book of ASTM Standards, Vol 03.01.

Sampel			Titik	Beban Penekanan (gf)	Angka Kekerasan Vickers	Rata-rata Kekerasan (VHN)
OLI	BM	AISI 1045	1	500	238,9	242,8
			2		246,7	
		SS400	1	500	247,2	240,95
			2		234,7	
	HAZ	AISI 1045	1	500	227,1	220,9
			2		214,7	
		SS400	1	500	247,2	243,25
			2		239,3	
	WA		1	500	191,1	186,85
			2		182,6	
UDARA	BM	AISI 1045	1	500	201,5	208,1
			2		214,7	
		SS400	1	500	217,2	213,25
			2		209,3	
	HAZ	AISI 1045	1	500	241,5	233,1
			2		224,7	
		SS400	1	500	237,2	238,25
			2		239,3	
	WA		1	500	201,5	198,1
			2		194,7	
AIR	BM	AISI 1045	1	500	213,2	213,95
			2		214,7	
		SS400	1	500	207,2	213,25
			2		219,3	
	HAZ	AISI 1045	1	500	274,2	284,45
			2		294,7	
		SS400	1	500	250,0	249,15
			2		248,3	
	WA		1	500	238,5	234,8
			2		231,1	

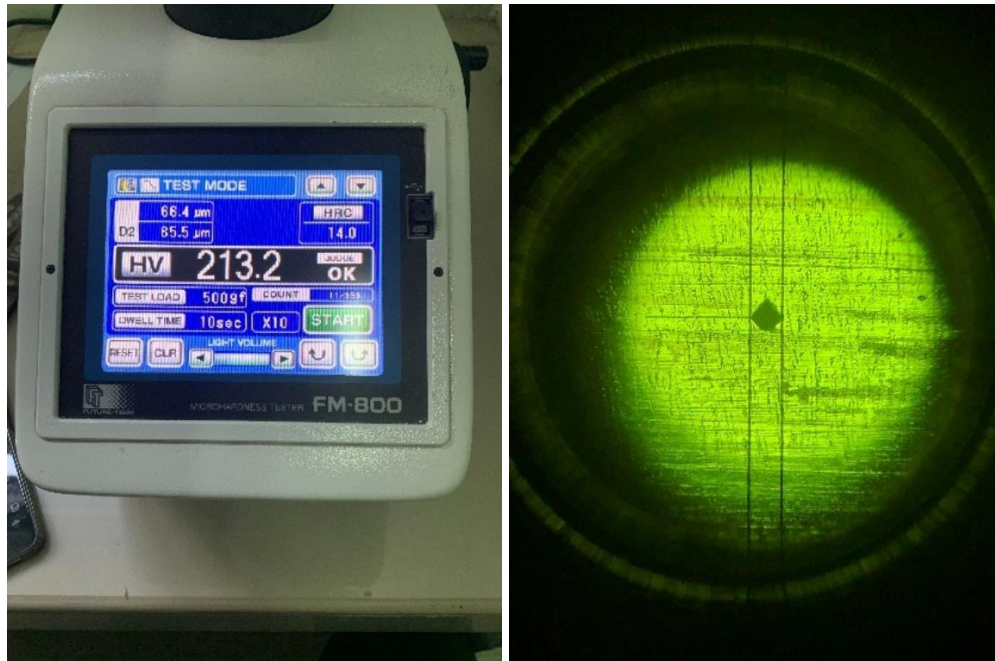
Lampiran 9 Sampel Hasil Pengujian *Micro Vickers*



Hasil Quenching Dengan Media Udara (Weld Area)



Hasil Quenching Dengan Media Air (Weld Area)



Hasil Quenching Dengan Media Oli (Weld Area)

Lampiran 10. Lembar Asistensi

LEMBAR ASISTENSI TUGAS AKHIR

Judul : Studi Perbandingan Media Pendingin Pada Baja Karbon Sedang AISI 1045 Dan Baja Karbon Rendah SS400 Hasil Pengelasan GMAW Terhadap Sifat Mekanik

Nama : Sopyan Mangaloksa Hutabarat

Npm : 2307230189P

Pembimbing : Dr. Sudirman Lubis, S.T.,M.T.

No	Hari/Tanggal	Keterangan	Paraf
	09/08/2025 Senin	Pembimbing review Setelah selesai	Sh
	09/08/2025	ACC Penambahan Kertas Terhadap Sifat Mekanik Pada Jenis Tugas akhir	Sh
	11/08/2025	Membahas analisis data, pengisian data hasil penelitian BAB IV	Sh
	15/08/2025	Revisi analisis dan pembahasan hasil mahasiswa, perbaikan	Sh
	18/08/2025	Revisi kesimpulan dan saran sesuai arahan BAB V	Sh
	19/08/2025	Acc Selesai.	Sh
	01/09/2025	Acc sedang	Sh

Lampiran 11. SK Pembimbing



UMSU
Unggul | Cerdas | Terpercaya
Bila mengasi surat ini agar diadukan nomor dan tanggalnya

MAJELIS PENDIDIKAN TINGGI PENELITIAN & PENGEMBANGAN PIMPINAN PUSAT MUHAMMADIYAH

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA

FAKULTAS TEKNIK

UMSU Terakreditasi Unggul Berdasarkan Keputusan Badan Akreditasi Nasional Perguruan Tinggi No. 174/SK/BAN-PT/Ak.Ppy/PT/III/2024
Pusat Administrasi: Jalan Mukhtar Basri No. 3 Medan 20238 Telp. (061) 6622400 - 66224567 Fax. (061) 6625474 - 6631003
<https://fatek.umsu.ac.id> fatek@umsu.ac.id [umsu.medan](#) [umsu.medan](#) [umsu.medan](#) [umsu.medan](#)

PENENTUAN TUGAS AKHIR DAN PENGHUJUKAN DOSEN PEMBIMBING

Nomor : 210/II.3AU/UMSU-07/F/2025

Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, berdasarkan rekomendasi Atas Nama Ketua Program Studi Teknik MESIN Pada Tanggal 31 Januari 2025 dengan ini Menetapkan :

Nama : SOPYAN MANGALOKSA HUTABARAT
Npm : 2307230189 P
Program Studi : TEKNIK MESIN
Semester : 7 (TUJUH)
Judul Tugas Akhir : STUDI PERBANDINGAN MEDIA QUENCHING PADA BAJA .
.KARBON SEDANG AISI 1045 DAN BAJA KARBON RENDAH
SS400 HASIL PENGELASAN GWAM TERHADAP SIFAT
MEKANIK .

Pembimbing : Dr. Ir SUDIRMAN LUBIS ST.MT

Dengan demikian diizinkan untuk menulis tugas akhir dengan ketentuan :

1. Bila judul Tugas Akhir kurang sesuai dapat diganti oleh Dosen Pembimbing setelah mendapat persetujuan dari Program Studi Teknik MESIN
2. Menulis Tugas Akhir dinyatakan batal setelah 1 (satu) Tahun dan tanggal yang telah ditetapkan.

Demikian surat penunjukan dosen Pembimbing dan menetapkan Judul Tugas Akhir ini dibuat untuk dapat dilaksanakan sebagaimana mestinya

Medan, 12 Syaban 1446 H
11 Februari 2025 M

Dekan


Muhammad Mansury Siregar, ST.,MT
NIDN: 0101017202





Agensi Kelayakan Malaysia
Malaysia Qualifications Agency

Lampiran 12. Berita Acara Seminar Hasil Penelitian

**DAFTAR EVALUASI SEMINAR FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA**

Nama : Sopyan Mangaloksa Hutabarat
NPM : 2307230189 P
Judul Tugas Akhir : Studi Perbandingan Media Pendingin pada Baja Karbon Sedang
Aisi 1045 Dan Baja Karbon Rendah SS400 Hasil Pengelasan
Gmaw Terhadap Sifat Mekanik.

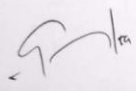
Dosen Pembanding – I : H. Muharnif ST.M.Sc
Dosen Pembanding – II : Chandra A Siregar ST.MT
Dosen Pembimbing – I : Dr Sudirman Lubis ST.MT

KEPUTUSAN

1. Baik dapat diterima ke sidang sarjana (collogium)
2. Dapat mengikuti sidang sarjana (collogium) setelah selesai melaksanakan perbaikan
antara lain :
Uhal buku skripsi
.....
.....
.....
3. Harus mengikuti seminar kembali
Perbaikan :
.....
.....
.....

Medan 05 Rabiul Awal 1447 H
29 Agustus 2025 M

Diketahui :
Ketua Prodi. T. Mesin



Chandra A Siregar ST.MT

Dosen Pembanding- I



H. Muharnif ST.M.Sc

**DAFTAR EVALUASI SEMINAR FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA**

Nama : Sopyan Mangaloksa Hutabarat
NPM : 2307230189 P
Judul Tugas Akhir : Studi Perbandingan Media Pendingin pada Baja Karbon Sedang
Aisi 1045 Dan Baja Karbon Rendah SS400 Hasil Pengelasan
Gmaw Terhadap Sifat Mekanik.

Dosen Pembanding – I : H. Muharnif ST.M.Sc
Dosen Pembanding – II : Chandra A Siregar ST.MT
Dosen Pembimbing – I : Dr Sudirman Lubis ST.MT

KEPUTUSAN

1. Baik dapat diterima ke sidang sarjana (collogium)
2. Dapat mengikuti sidang sarjana (collogium) setelah selesai melaksanakan perbaikan
antara lain : *lihat buku tugas akhir*
.....
.....
.....
3. Harus mengikuti seminar kembali
Perbaikan :
.....
.....
.....

Medan 05 Rabiul Awal 1447 H
29 Agustus 2025 M

Diketahui :
Ketua Prodi. T. Mesin



Chandra A Siregar ST.MT

Dosen Pembanding- II



Chandra A Siregar ST.MT

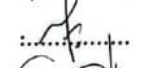
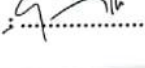
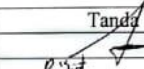
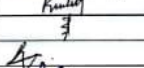
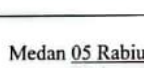
**DAFTAR HADIR SEMINAR
TUGAS AKHIR TEKNIK Mesin
FAKULTAS TEKNIK – UMSU
TAHUN AKADEMIK 2024 – 2025**

Peserta seminar

Nama : Sopyan Mangaloksa Hutabarat

NPM : 2307230189 P

Judul Tugas Akhir : Studi Perbandingan Media Pendingin pada Baja Karbon Sedang Aisi 1045 Dan Baja Karbon Rendah SS400 Hasil Pengelasan Gmaw Terhadap Sifat Mekanik.

DAFTAR HADIR			TANDA TANGAN
Pembimbing – I	: Dr Sudirman Lubis ST.MT	:	
Pembanding – I	: H. Muharnif ST.M.Sc	:	
Pembanding – II	: Chandra A Siregar ST.MT	:	
No	NPM	Nama Mahasiswa	Tanda Tangan
1	1807230149	Rahmat Tedy Hawan	
2	2107230048	Risto Pamadhan	
3	2107230114	REHAN SURFAN	
4	2107230037	Iman tijori khaqa	
5	1807230147	BAEUS SUWANDY	
6			
7			
8			
9			
10			

Medan 05 Rabiul Awal 1447 H
29 Agustus 2025 M

Ketua Prodi. T. Mesin



Chandra A Siregar ST.MT

DAFTAR RIWAYAT HIDUP



A. DATA PRIBADI

Nama : Sopyan Mangaloksa Hutabarat
Jenis Kelamin : Laki-Laki
Tempat, Tanggal Lahir : Parhitean, 29 Oktober 1999
Alamat : Jl. Pandu No.10
Agama : Islam
E-mail : loksahutabarat@gmail.com
No. Hp : 085261340924

B. RIWAYAT PENDIDIKAN

1. SD Negeri 017140 Tangga	Tahun 2004-2010
2. SMP Negeri 2 Aek Songongan	Tahun 2010-2013
3. SMK Negeri 1 Balige	Tahun 2013-2016
4. Politeknik Negeri Medan	Tahun 2016-2019
5. Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara	Tahun 2023-2025