

**PENGARUH JENIS MEDIA PENDINGIN AIR GARAM, AIR SUMUR
DAN OLI TERHADAP *HARDNESS* PADA HASIL PENGELASAN BAJA
S45C MENGGUNAKAN LAS SMAW**

SKRIPSI

*Diajukan Kepada Tim Penguji Skripsi Jurusan Teknik Mesin
Sebagai Salah Satu Persyaratan Guna Memperoleh Gelar Sarjana Pendidikan*



Oleh:

RIDWAN. A

15067104/ 2015

**PROGRAM STUDI PENDIDIKAN TEKNIK MESIN
JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS NEGERI PADANG**

2021

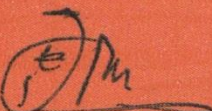
HALAMAN PERSETUJUAN SKRIPSI

**PENGARUH JENIS MEDIA AIR GARAM, AIR SUMUR DAN OLI
TERHADAP HARDNESS PADA HASIL PENGELASAN BAJA S45C
MENGUNAKAN LAS SMAW**

Nama : Ridwan. A
NIM / BP : 15067104 / 2015
Program Studi : S1 Pendidikan Teknik Mesin
Jurusan : Teknik Mesin
Fakultas : Teknik

Padang, Mei 2021

Pembimbing

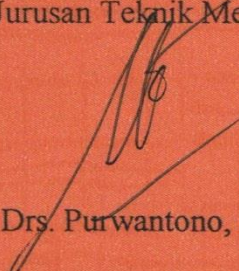


Drs. Irzal, M.Kes.

NIP.19610814 199103 1 004

Mengetahui

Ketua Jurusan Teknik Mesin FT-UNP



Drs. Purwantono, M.Pd

NIP. 19630804 198603 1 002

HALAMAN PENGESAHAN SKRIPSI

Dinyatakan Lulus Setelah Mempertahankan Skripsi di depan Tim Penguji

Program Studi Pendidikan Teknik Mesin

Jurusan Teknik Mesin

Fakultas Teknik

Universitas Negeri Padang

Dengan Judul

PENGARUH JENIS MEDIA AIR GARAM, AIR SUMUR DAN OLI TERHADAP HARDNESS PADA HASIL PENGELASAN BAJA S45C MENGUNAKAN LAS SMAW

Nama : Ridwan. A
NIM / BP : 15067104 / 2015
Program Studi : S1 Pendidikan Teknik Mesin
Jurusan : Teknik Mesin
Fakultas : Teknik

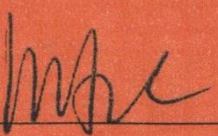
Padang, Mei 2021

Tim Penguji

Nama

Tanda Tangan

1. Ketua : Drs. Irzal, M.Kes.
2. Anggota : Dr. Waskito, M.T.
3. Anggota : Rodesri Mulyadi, S.T., M.T.

1. 
2. 
3. 

HALAMAN PERSEMBAHAN



Allah tidak akan membebani seseorang melainkan sesuai dengan kesanggupannya. Ia mendapat pahala (dari kebajikan) yang diusahakannya dan ia mendapat siksa (dari kejahatan) yang dikerjakannya dan tidak mendapat (siksa) dari kejahatan yang diperbuat. (mereka berdoa) “ ya tuhan kami janganlah Engkau hukum kami jika kami lupa atau kami melakukan kesalahan.

(QS. Al-Baqarah: 286)

Sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan, Maka apabila kamu telah selesai dari (sesuatu urusan) Kerkajalah dengan sungguh-sungguh (urusan) yang lain dan hanya kepada Tuhanlah hendaknya kamu berharap.

(Qs. Alam Nasyrah 6-8)

Keridhaan Allah tergantung kepada keridhaan kedua orang tua dan kemurkaan Allah tergantung kepada kemurkaan orang tua. (HR. Tirmidzi)

Puji dan syukur aku ucapkan kepada Allah Subhanahu Wa Ta'ala yang telah melimpahkan rahmat dan karunia-Nya sehingga aku dapat menyelesaikan skripsi ini dan alhamdulillah pada akhirnya gelar sarjana strata 1 ini dapat saya raih. Sholawat beserta salam semoga selalu dilimpahkan Oleh Allah Subhanahu Wa Ta'ala kepada junjungan umat islam sedunia yakni ***Nabi Muhammad Shallallahu Alaihi Wasalam*** yang telah membawa umat manusia dari zaman jahiliyah menuju zaman yang penuh dengan cahaya ilmu pengetahuan.

Sepanjang perjalanan yang aku lewati, perjalanan yang banyak penuh tantangan dan lika-liku kehidupan, dan keadaan pada sekarang ini yang berada di zona pandemic yang melanda dunia, yang juga berdampak pada tertundanya tugas akhir pada waktu itu, yang membuat semua perencanaan aku dalam menyelesaikan strata 1 menjadi terkendala beberapa bulan.

Namun seiring berjalan akhirnya aku bisa menyelesaikan tugas akhir atau skripsi dan akhirnya sarjana strata 1 bisa aku raih.

Alhamdulillah sebuah karya kecil ini, Namun bermakna besar bagiku. Ya Allah Tiada tempat berlindung bagiku, selain dibawah naungan belas kasih-Mu. Aku tahu, tidak mudah bagiku Menjalani hidup yang penuh tantangan dalam naungan maghfirah-Mu. Karena itu Aku datang dan memohon rahman dan rahim-Mu. Bila

Engkau berkenan memberikan ujian padaku, berilah keteguhan hati dan kesabaran, bangunkanlah aku ditengah malam, gerakkanlah bibirku untuk menyebut kalimat-kalimat yang membesarkan asma-Mu. Basahi sajadahku dengan airmata khususkan Dikala aku merintih dihadapan-Mu dan jadikanlah saat-saat seperti ini saat yang paling menentramkan dihatiku. Ya Robbiku cintakan aku dan biasakanlah iman itu pada jantungku. Bencikan aku pada kekufuran, kegelisahan dan kemaksiatan. Harapkanku, semoga aku tidak tersingkir dari pintu rahmat-Mu.

Ku persembahkan karya kecilku ini buat Amak (Jawanis) dan Apak (Abdulrahman), terkhusus buat apak sudah lama meninggalkan kami semenjak tahun 2003. Semoga Allah Subhanahu Wa Ta'ala menempatkan apak disurganya, dilapangkan kuburan, serta diterima amal ibadah beliau dan memandikan beliau dengan air salju, bersihkan beliau dari kesalahan, sebagaimana engkau membersihkan baju yang putih dari kotoran. Kepada amak (Jawanis) terima lah karya kecil ku ini sebagai bakti dan ucapkan terima kasihku, yang selama ini tak putus-putus mendoakanku, memotivasiku dan selalu mendengarkan keluh kesahku. Semoga karya kecilku ini dapat menghapus keringat, mengobati setiap luka yang tergores dan menjawab setiap doa dan harapannya. Dan aku berjanji tidak akan membiarkan semua itu sia-sia, ku ingin melakukan yang terbaik untuk setiap kepercayaan yang diberikan.

Kepada uda ku (Nasrul. A, Sulaiman, dan Jaswar efendi), Terkhusus buat uda ku nas yang selama selama ini selalu memotivasiku untuk cepat selesai dan mendorong ku untuk bisa lebih dari pencapaiannya dan itu adalah sebuah tanggung jawab yang harus ku capai, dan kepada uda ku sul yang memiliki harapan yang besar lebih darinya, dan selalu mengingatkan ku disaat aku lalai dalam mengerjakan sesuatu, dan juga kepada uni ku (Armianti, Erpawati, Jusmiati dan Weni mulyanti). Terima kasih untuk setiap doa dan motivasinya selama ini. Dan teruntuk buat anak dan kemanakan yang tidak bisa ku sebutkan satu persatu. Semoga kemanakan dan anakku bisa menyusul dan sampai ditahap ini juga, bahkan lebih dari ini hendaknya.

Terima kasih kepada kepada seluruh dosen jurusan teknik mesin yang tidak bisa disebutkan satu persatu, yang telah telah mendidik dan mengajarkan kepada ku ilmu yang bermanfaat sehingga ku dapat menyelesaikan kuliah di jurusan teknik mesin FT UNP. Terkhusus kepada dosen pembimbing skripsiku **Bapak Drs. Irzal, M.Kes.** terima kasih suport selama ini dan selalu mengingatkan ku untuk cepat wisuda dan banyak memberikan masukan sehingga ku

dapat menyelesaikan skripsi ini. Untuk bapak Dr. Waskito, M.T. dan Bapak Rodestri Mulyadi, S.T., M.T. yang telah banyak memberikan waktu dan pikiran dalam membimbing saya dalam menyelesaikan skripsi ini.

Terima kasih kepada kawan dan senior teknik mesin yang tidak bisa ku sebut satu persatu namanya yang selama ini memberikan dukungan dan membantuku dalam menyelesaikan skripsi ku ini.

*“Don't wait to be happy to smile, but smile then you will be happy”.
Life is a challenge so from you must be strong*

BY. Ridwan. A

SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Ridwan. A
NIM/ TM : 15067104 / 2015
Program Studi : S1 Pendidikan Teknik Mesin
Jurusan : TeknikMesin
Fakultas : Teknik Universitas Negeri Padang

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam skripsi ini yang berjudul ***“Pengaruh Jenis Media Pendingin Air Garam, Air Sumur, Oli Bekas Terhadap Hardness pada Hasil Pengelasan Baja S45C Menggunakan Las SMAW”*** benar-benar karya saya sendiri dan bukan plagiat dari karya orang lain, apabila dikemudian hari saya terbukti melakukan plagiat maka saya bersedia diproses dan menerima sanksi sesuai yang aturan yang berlaku. Sepanjang pengetahuan saya tidak terdapat karya atau pendapat yang ditulis dan diterbitkan oleh orang lain, kecuali sebagai acuan atau kutipan di dalam naskah dan buku sebagaimana yang disebutkan di dalam daftar pustaka.

Demikianlah pernyataan ini saya buat dengan kesadaran dan rasa tanggung jawab sebagai anggota masyarakat ilmiah.

Padang, 19 Mei 2021
Yang Menyatakan

Ridwan. A
NIM. 15067104

ABSTRAK

Ridwan.A (2015): Pengaruh Jenis Media Pendingin Air Garam, Air Sumur dan Oli terhadap *Hardness* pada Hasil Pengelasan Baja S45C Menggunakan Las SMAW.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui apakah ada pengaruh media pendingin air garam, air sumur dan oli terhadap kekerasan pada hasil pengelasan baja S45C menggunakan las SMAW. Penelitian ini merupakan penelitian eksperimen yang membandingkan jenis media pendingin yang digunakan yaitunya air garam, air sumur dan oli bekas. Penelitian ini menggunakan 15 spesimen, 3 spesimen *raw material*, 3 spesimen menggunakan media pendingin udara, 3 spesimen media pendingin air garam, 3 spesimen menggunakan air sumur, 3 Spesimen menggunakan media pendingin oli bekas.

Berdasarkan hasil pengujian diperoleh rata-rata nilai kekerasan tertinggi pada hasil pengelasan dengan media pendingin air garam yaitu jalur las 20,33 *HRC*, daerah *HAZ* 24,43 *HRC*, dan logam induk 18,67 *HRC*, nilai rata-rata pada spesimen ini sebesar 21,14 *HRC*. Kekerasan rata-rata media pendingin air sumur yaitu jalur las 19,73 *HRC*, daerah *HAZ* 22,57 *HRC*, dan logam induk 18,57 *HRC*, nilai rata-rata pada spesimen ini sebesar 20,24 *HRC*. Kekerasan rata-rata media pendingin oli bekas yaitu jalur las 17,77 *HRC*, daerah *HAZ* 20,33 *HRC*, dan logam induk 18,50 *HRC*, nilai rata-rata pada spesimen ini sebesar 18,87 *HRC*. Kekerasan rata-rata media pendingin udara yaitu jalur las 17,27 *HRC*, daerah *HAZ* 19,33 *HRC*, dan logam induk 17,97 *HRC*, nilai rata-rata pada spesimen ini sebesar 18,19 *HRC*. Hasil pengujian disimpulkan bahwa dengan perlakuan media pendingin yang berbeda-beda terhadap hasil pengelasan las SMAW menunjukan terjadinya peningkatan nilai kekerasan terhadap spesimen *row materil* S45C.

Kata Kunci: Pengaruh, Media Pendingin, S45C, Las SMAW, Kekerasan

KATA PENGANTAR



Assalamu'alaikum Wr. Wb

Puji syukur penulis ucapkan kehadirat Allah *Subhanahu Wa Ta'ala* yang telah melimpahkan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan judul **“Pengaruh Jenis Media Pendingin Air Garam, Air Sumur dan Oli terhadap *Hardness* pada Hasil Pengelasan Baja S45C Menggunakan Las SMAW”**. Sholawat beserta salam semoga selalu dilimpahkan Oleh Allah *Subhanahu Wa Ta'ala* kepada junjungan umat islam sedunia yakni Nabi Muhammad *Shallallahu Alaihi Wasalam* yang telah membawa umat manusia dari zaman jahiliyah menuju zaman yang penuh dengan cahaya ilmu pengetahuan, aqidah yang baik dan berakhlak mulia.

Penulisan skripsi ini penulis banyak memperoleh bimbingan, saran, motivasi dan bantuan dari berbagai pihak baik secara langsung maupun tidak langsung. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Bapak Drs. Irzal, M.Kes. selaku Dosen Pembimbing, yang telah memberikan bimbingan, saran-saran dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan proposal penelitian ini.
2. Bapak Dr. Waskito, M.T. selaku Dosen Penguji I
3. Bapak Rodesri Mulyadi, S.T., M.T. selaku Dosen Penguji II

4. Bapak Drs. Purwantono, M.Pd. selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang.
5. Bapak/Ibu Dosen dan Staf Administrasi Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang.
6. Teristimewa untuk orang tua dan keluarga yang telah memberikan dukungan dan motivasi serta doa kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan proposal penelitian ini.
7. Rekan-rekan seperjuangan di Jurusan Teknik Mesin terkhususnya angkatan 2015, dan semua pihak yang telah membantu dan memberikan dukungan selama pembuatan skripsi penelitian ini.

Semoga Allah *Subhanahu Wa Ta'ala* memberikan balasan yang setimpal kepada semua telah membantu penulis dalam menyelesaikan skripsi ini. Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih banyak kekurangan karena keterbatasan pengetahuan dan wawasan yang penulis miliki. Penulis mengharapkan kritik dan saran yang sifatnya membangun dari semua pihak untuk lebih baiknya penelitian ini.

Wassalaamualaikum Wr. Wb

Padang, Mei 2021

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERSETUJUAN SKRIPSI	ii
HALAMAN PENGESAHAN SKRIPSI	iii
HALAMAN PERSEMBAHAN	iv
HALAMAN PERNYATAAN.....	vii
ABSTRAK	viii
KATA PENGANTAR.....	ix
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xiv
DAFTAR TABEL	xv
DAFTAR LAMPIRAN	xvi
BAB I PENDAHULUAN	
A. Latar Belakang.....	1
B. Identifikasi Masalah.....	4
C. Batasan Masalah	5
D. Rumusan Masalah.....	5
E. Tujuan Penelitian	5
F. Manfaat Penelitian	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
A. Pengelasan	7
B. Las Busur Elektroda Terbungkus	8
1. Arus Pengelasan	10
2. Elektroda Las	12
3. Bahan Fluks	14
4. Sambungan las	15
5. Posisi Pengelasan.....	18
C. Metalurgi Las	20
1. Diagram CCT (<i>Continuous Cooling Transformation</i>)	21
D. Daerah Pengaruh Panas pengelasan.....	22

1. Logam Las (<i>Weld Metal</i>)	23
2. Daerah HAZ (<i>Head Afected Zone</i>).....	23
3. Logam Induk (<i>Parent Metal</i>)	23
E. Siklus Termal Las	24
F. Baja Karbon	24
1. Baja Karbon Rendah (<i>Low Carbon Steel</i>)	26
2. Baja Karbon Sedang (<i>Medium Carbon Steel</i>).....	26
3. Baja Karbon Tinggi (<i>High Carbon Steel</i>).....	26
4. Baja S45C	27
G. Struktur Baja	30
H. Media Pendingin	35
I. Uji Kekerasan	39
1. Pengujian Kekerasan <i>Brinnel</i>	40
2. Pengujian Kekerasan <i>Vicker</i>	41
3. Pengujian Kekerasan <i>Rockwell</i>	41
J. Pertanyaan Penelitian	44
K. Penelitian Relevan	44

BAB III METODE PENELITIAN

A. Jenis Penelitian	46
B. Waktu Dan Tempat Pelaksanaan	46
C. Objek Penelitian.....	47
D. Jenis dan Sumber Data.....	47
E. Alat dan Bahan.....	48
F. Prosedur Pelaksanaan	49
1. Pengukuran Bahan	49
2. Pemotongan Bahan	49
3. Pemotongan Spesimen	50
4. Pengelasan	50
5. Pembagian Spesimen Uji	52
6. Pengujian Kekerasan	53
G. Instrumen Pengumpulan Data	54

H. Teknik Analisis Data	55
I. Prosedur Penelitian	57
BAB III HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN	
A. Deskripsi Lokasi Penelitian	58
B. Objek Penelitian.....	58
C. Datta Hasil Pengujian Kekerasan	59
D. Analisis Data Pengujian Kekerasan.....	63
E. Pembahasan Hasil Pengujian	66
BAB III METODE PENELITIAN	
A. Kesimpulan	72
B. Saran	73
DAFTAR PUSTAKA.....	74
LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Las Busur Listrik dengan Elektroda Terbungkus.....	10
2. Pemindahan Logam Cair	11
3. Jenis-jenis Sambungan Las	16
4. Kampuh V	17
5. Alur Sambungan Las Tumpul	18
6. Posisi-Posisi Pengelasan	20
7. Diagram CCT Untuk Baja ASTM 4340.....	21
8. Perubahan Temperatur pada Lasan	22
9. Daerah Metarlugi Lasan.....	22
10. Kristal Logam.....	31
11. Struktur <i>Ferrite</i> Baja Lunak.....	31
12. Stuktur <i>pearlite</i>	33
13. Struktur <i>sementite</i>	33
14. Struktur Martensite.....	34
15. Garam (NaCl).....	37
16. Teknik Pengujian Kekerasan.....	40
17. Cara Kerja Mesin <i>Rockwell</i>	43
18. Spesimen Uji Kekerasan	47
19. Mesin Uji Kekerasan <i>Rockwell</i>	49
20. Ukuran Material Bahan	49
21. Spesimen Kampuh V.....	50
22. Mesin Las <i>SMAW</i>	50
23. Proses Pendinginan	51
24. Proses Penggrindaan	52
25. Proses Grinding	52
26. Proses Pengujian Kekersan	54
27. Diagram Alir Penelitian	57
28. Grafik Nilai Kekerasan Spesimen	57

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Hubungan Tebal Plat dan Diameter Elektroda dengan Arus	12
2. Spesikasi Elektroda Terbungkus dari Baja Lunak	14
3. Perkiraan Waktu Pendinginan pada Beberapa Cara Las Busur	24
4. Komposisi Baja S45C	27
5. Klasifikasi Baja Karbaon	30
6. Skala Kekerasan <i>Rockwell</i>	42
7. Tarbulasi Data Pengujian Kekerasan <i>Rockwell</i>	55
8. Data Hasil Pengujian Kekerasan <i>Rockwell</i> Baja S45C	60
9. Data Nilai Rata-rata keseluruhan Pengujian Kekerasan	62

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran

1. Surat Tugas Pemimbing
2. Bukti Publish Jurnal Vomek
3. Lembaran konsultasi
4. Surat Izin Penelitian
5. Surat Permohonan Pemakain Laboratorium Fabrikasi
6. Surat Peminjaman laboratorium Material Teknik dan Metrologi
7. Tabel Hasil Pengujian Kekerasan
8. Sertifikat Material
9. Dokumentasi Proses Penelitian

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang Masalah

Perkembangan zaman saat sekarang ini telah memasuki era perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi (IPTEK) yang mempunyai peranan penting dalam kemajuan industri. Perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi yang cukup pesat, maka harus diimbangi dengan sumber daya manusia (SDM) yang berkualitas agar perkembangan tersebut bisa dimanfaatkan secara maksimal, salah satu perkembangan (IPTEK) yang ada pada saat ini adalah dibidang pengelasan.

Pengelasan merupakan bagian yang tidak terpisahkan dalam perkembangan dunia industri, karena hampir semua pembangunan yang ada pada saat ini melibatkan unsur pengelasan didalamnya, luasnya pemakaian bidang pengelasan disebabkan oleh konstruksi serta bangunan yang memakai teknik pengelasan dalam proses penyambungan menjadi lebih kuat, sederhana dan ringan bila dibandingkan dengan teknik penyambungan yang lain.

Ruang lingkup penggunaan teknik pengelasan dalam bidang konstruksi sangat luas, luasnya penggunaan pengelasan meliputi perkapalan, jembatan, rangka baja, bejana tekan, pipa pesat, pipa saluran, kendaraan rel dan sebagainya, selain itu proses pengelasan dapat dipergunakan untuk reparasi misalnya untuk mengisi lubang coran, membuat lapisan perkakas, mempertebal bagian-bagian yang sudah aus, dan macam-macam reparasi lainnya.

Pengelasan bukan tujuan utama dari konstruksi tetapi merupakan sarana untuk mencapai ekonomi pembuatan yang lebih, karena rancangan dan cara pengelasan harus betul-betul memperhatikan kesesuaian antara sifat las yaitunya dengan memperhatikan kekuatan dari sambungan yang akan dilas, sehingga hasil pengelasan sesuai yang diharapkan. Kualitas pengelasan dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain teknik pengelasan, bahan logam, pengaruh panas dan media pendingin. Menurut pendapat Daryanto (2012:11) mengemukakan bahwa “Kualitas hasil pengelasan ditentukan beberapa faktor antara lain teknik pengelasan, bahan logam yang disambung, pengaruh panas dan laju pendinginan.

Selain itu kualitas pengelasan juga dipengaruhi oleh media pendingin yang digunakan, lamanya pendinginan dalam suatu daerah lasan sangat berpengaruh pada kualitas sambungan, untuk mendapatkan hasil sambungan pengelasan yang baik maka perlu memperhatikan media pendingin yang digunakan, pemakaian media pendinginan akan membantu untuk mendinginkan hasil pengelasan secara cepat, pada proses pendinginan tersebut dapat menyebabkan perubahan terhadap sifat mekanik bahan, salah satunya kekerasan logam terhadap hasil las.

Menurut Daryanto (2012:61) mengemukakan bahwa “lamanya pendinginan dalam suatu daerah tempertur dari suatu siklus las sangat mempengaruhi kualitas sambungan, karena itu banyak usaha sekali usaha - usaha pendekatan untuk menentukan lamanya waktu pendinginan tersebut”.

Penggunaan media pendingin yang lazim digunakan para juru las seperti media air, udara dan oli, akan tetapi para juru las belum mengetahui bahwa larutan air garam baik dalam mempercepat pendinginan terhadap hasil lasan, karena larutan air garam memiliki sifat mendinginkan secara cepat, tingkat viskositas yang rendah serta massa jenis yang lebih besar, sehingga laju pendinginannya cepat jika dibandingkan dengan media pendingin yang lain.

Dalam aplikasinya semua baja akan terkena pengaruh gaya luar berupa tegangan-tegangan gesek, tarik maupun tekan sehingga menimbulkan deformasi atau perubahan bentuk. Usaha menjaga baja agar lebih tahan gesekan, tarikan atau tekanan adalah dengan cara mengeraskan baja tersebut, salah satunya dengan cara quenching. Quenching merupakan proses pendinginan secara cepat berupa pencelupan plat baja pasca pengelasan pada wadah media pendingin yang telah disediakan berupa air garam, air sumur dan oli. Kemampuan suatu jenis media dalam mendingin spesimen bisa berbeda-beda, semakin cepat logam didinginkan maka akan semakin keras sifat logam tersebut (Prihanto Trihutomo, 2015).

Pada kondisi operasinya, komponen permesinan mempunyai kelemahan yaitu nilai kekerasan yang rendah sehingga mengakibatkan kegagalan dalam proses operasinya, kegagalan yang sering terjadi adalah keausan, deformasi dan pecah. Untuk memperluas penggunaan baja karbon sedang maka diperlukan peningkatan sifat mekaniknya, salah satu alternatif untuk memperbaiki sifat mekanik bahan pada baja karbon sedang adalah

dengan cara perlakuan pendinginan yang baik agar meningkatkan kekerasan yang hendak dicapai.

Untuk dapat mengetahui adakah pengaruh jenis media pendingin air garam, air sumur dan oli terhadap *hardness* pada hasil pengelasan dengan las SMAW, maka perlu diadakannya pengujian terhadap benda uji hasil dari pengelasan las SMAW. Berdasarkan latar belakang diatas, maka peneliti tertarik melakukan penelitian untuk mengukur tingkat kekerasan pada baja karbon S45C menggunakan las listrik dengan jenis media pendingin yang berbeda. Peneliti memberi judul penelitian ini “ **Pengaruh Jenis Media Pendingin Air Garam, Air Sumur, Oli terhadap *Hardness* pada Hasil Pengelasan Baja S45C Menggunakan Las SMAW**”.

B. Identifikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, maka dapat diidentifikasi masalah yang ada yaitu sebagai berikut:

1. Media pendingin yang digunakan dalam pengelasan dapat mempengaruhi struktur dan sifat mekanik bahan yang dilas.
2. Banyak pekerja pada sambungan konstruksi las yang sering kali tidak memperhatikan pengaruh jenis media pendingin yang digunakan sehingga kualitas hasil pengelasan menjadi kurang baik.
3. Terdapat perbedaan rata-rata nilai kekerasan hasil pengelasan yang didinginkan dengan media pendingin air garam, air sumur, oli dan udara.

C. Batasan Masalah

Berdasarkan identifikasi masalah diatas, agar pembahasan dalam penelitian ini lebih terfokus maka penulis membatasi masalah yang akan diteliti adalah pengaruh jenis media pendingin air garam, air sumur, dan oli terhadap *hardness* pada pengelasan baja S45C dengan menggunakan las SMAW. Media pendingin yang digunakan yaitunya larutan air garam, air sumur, dan oli bekas, kemudian dilakukan pengujian kekerasan dengan menggunakan metode kekerasan *rockwell*.

D. Rumusan Masalah

Berdasarkan batasan masalah diatas, maka dapat dirumuskan permasalahanya sebagai berikut:

1. Apakah ada pengaruh jenis media pendingin air garam, air sumur, oli bekas terhadap *hardness* pada hasil pengelasan baja S45C menggunakan las SMAW.
2. Seberapa besar pengaruh jenis media pendingin air garam, air sumur, oli bekas terhadap *hardness* pada hasil pengelasan baja S45C menggunakan las SMAW.

E. Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah diatas, maka tujuan dalam penelitian ini sebagai berikut:

1. Untuk mengetahui Apakah ada pengaruh jenis media pendingin air garam, air sumur, oli bekas terhadap *hardness* pada hasil pengelasan baja S45C menggunakan las SMAW.

2. Untuk mengetahui seberapa besar perbedaan penggunaan jenis media pendingin air garam, air sumur, oli bekas terhadap *hardness* pada hasil pengelasan baja S45C menggunakan las SMAW.

F. Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Bagi penulisan
 - a. Sebagai syarat penulis untuk menyelesaikan pendidikan program Studi Pendidikan Teknik Mesin Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Mesin Universitas Negeri Padang.
 - b. Menambah pengetahuan dan pengembangan wawasan penulis mengenai pengaruh pemakaian media pendingin terhadap kekerasan pada hasil pengelasan pada plat baja S45C.
2. Bagi mahasiswa dan pembaca
 - a. Menjadi acuan untuk mengembangkan penelitian lebih lanjut yang berkaitan dengan penggunaan media pendingin larutan air garam, air sumur, oli bekas pada pengelasan terhadap uji kekerasan pada plat baja S45C dan memberikan informasi pengembangan penelitian dilingkungan akademik khususnya Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Mesin Universitas Negeri Padang.
 - b. Sebagai pembandingan dengan penelitian yang akan dilakukannya.
3. Bagi masyarakat
 - a. Sebagai informasi bagi para juru las pada konstruksi sambungan untuk meningkatkan kualitas hasil pengelasan.

BAB II

KAJIAN TEORI

A. Pengelasan

Pengelasan merupakan salah satu teknik penyambungan logam atau benda padat dengan jalan mencairkan sebagian logam induk melalui pemanasan. Menurut Harsono Wiryosumarto dan Toshie Okumura (2008:1) “Definisi pengelasan menurut DIN (Deutsche Industrie Norman) adalah ikatan metalurgi pada sambungan logam atau logam paduan yang dilaksanakan dalam keadaan lumer atau cair. Pengelasan menurut Daryanto (2012:91) adalah proses penyambungan antara dua logam atau lebih ringan menggunakan energi panas.

Logam daerah lasan sambungan, akan mengalami siklus termal yang cepat, yang akan menyebabkan terjadinya perubahan metalurgi yang rumit deformasi dan tegangan-tegangan termal. Pendapat lain dikemukakan oleh Mochamad Alip (1989:34) mengelas adalah suatu aktifitas menyambung dua bagian benda atau lebih dengan cara memanaskan atau menekan gabungan dari keduanya sehingga menyatu seperti benda yang utuh.

Dengan kata lain, las merupakan suatu proses penyambungan dua buah logam atau lebih dengan cara memanaskan. Menurut American Welding Society, (1989) menjelaskan bahwa proses penyambungan logam atau non logam yang dilakukan dengan memanaskan material yang akan disambung, mengelas bukan sekedar memanaskan dua bagian logam sampai mencair dan membiarkannya mengkristal kembali tetapi bagaimana memperlakukan benda

kerja tersebut bisa membuat sambungan yang baik dan utuh. Penambahan bahan tambah atau elektroda pada saat dipanaskan sehingga mempunyai kekuatan seperti yang diharapkan. Untuk mendapatkan kekuatan pengelasan yang baik harus memperhatikan beberapa faktor diantaranya: prosedur pengelasan, jenis las yang digunakan, bahan yang digunakan, jenis kampuh dan elektroda. Berdasarkan klasifikasi pengelasan dapat dibagi menjadi tiga kelas utama yaitunya: pengelasan cair, pengelasan tekan, pematrian.

1. Pengelasan cair adalah cara pengelasan dimana sambungan dipanaskan sampai mencair dengan sumber panas dari busur listrik atau semburan api gas yang terbakar.
2. Pengelasan tekan adalah cara pengelasan dimana sambungan dipanaskan dan kemudian ditekan hingga menjadi satu.
3. Pematrian adalah cara pengelasan dimana sambungan diikat dan disatukan dengan menggunakan paduan logam yang mempunyai titik cair rendah dalam cara ini logam induk tidak turut cair. (Wiryosumarto,2008:7)

B. Las Busur Elektroda Terbungkus (*Shielded Metal Arc Welding*)

Las busur listrik merupakan metode pengelasan yang memanfaatkan tenaga listrik sebagai sumber panas, arus listrik yang cukup tinggi dimanfaatkan untuk menciptakan busur nyala listrik (*Arc*) sehingga dihasilkan suhu pengelasan yang tinggi mencapai 1500°C. Pada temperatur tersebut panas yang dihasilkan akan melelehkan bagian benda kerja dan ujung elektroda, menghasilkan kubangan logam cair yang biasa disebut kawah lasan. Kawah lasan yang berupa paduan lelehan benda kerja dan elektroda akan membeku pada saat elektroda bergeser sepanjang jalur sambungan yang akan dibuat, sehingga dihasilkan sambungan las yang kuat berupa paduan logam dari bahan dan benda kerja yang disambung.

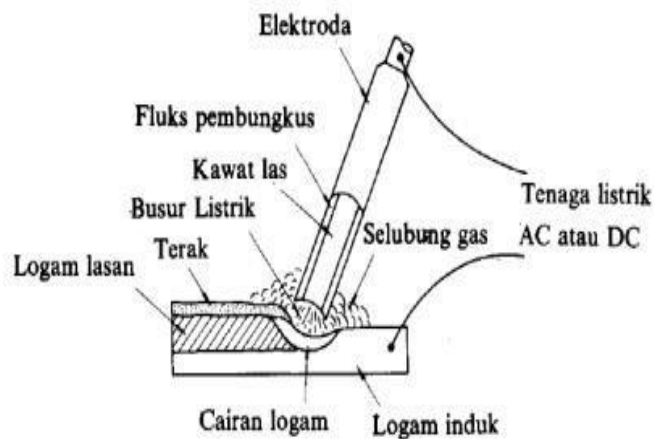
Menurut Harsono Wiryosumarto Dan Okomura (2008:9) “Proses pengelasan ini menggunakan energi listrik sebagai sumber panas dengan jalan pencairan dengan busur nyala listrik”. Maka las busur listrik merupakan proses penyambungan logam dengan menggunakan tenaga listrik sebagai sumber panasnya, panas yang ditimbulkan oleh busur listrik terjadi antara elektroda las dan benda kerja dimana elektroda meleleh bersama-sama dengan benda kerja akibat dari las busur listrik(nyala).

Pendapat lain dikemukakan oleh Arifin (1997) las busur listrik merupakan salah satu jenis las listrik dimana sumber pemanasan atau pelumeran bahan yang disambung atau dilas berasal dari busur nyala listrik. Las nyala listrik dengan metode elektroda terbungkus adalah cara pengelasan yang banyak digunakan pada masa ini, cara pengelasan ini menggunakan elektroda logam yang dibungkus pelindung berupa fluks.

Las busur listrik dengan elektroda terbungkus fluks mempunyai peranan penting Yang bertindak memperlancar perpindahan butir-butiran cairan logam. Sebagai sumber terak atau gas yang melindungi logam cair terhadap udara sekitar, dan juga berfungsi untuk menstabilkan busur pada pengelasan serta sebagai sumber unsur paduan (Kou, 2003). Fungsi lain dari bahan pembungkus (fluks) adalah sebagai sumber terak untuk melindungi logam cair dari udara

Menurut Harsono Wiryosumarto dan Toshie Okumura (2008:9) pengelasan dengan menggunakan kawat elektroda logam yang dibungkus dengan fluks dimana las busur listrik terbentuk diantara logam induk dan

ujung elektroda, Karena panas dari busur ini maka logam induk dan ujung elektroda tersebut mencair dan kemudian membeku bersama.



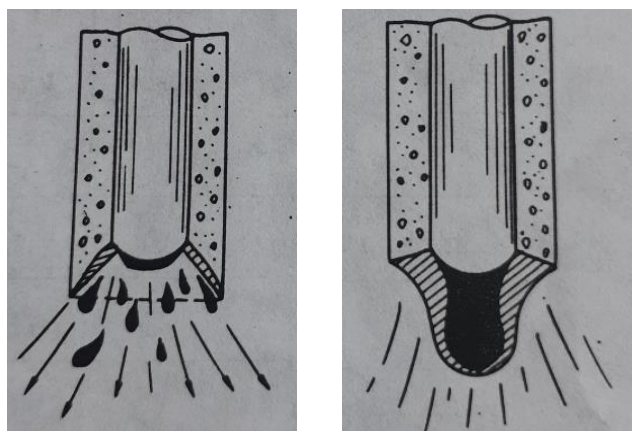
Gambar 1. Las Busur Listrik dengan Elektroda Terbungkus
(Harsono Wiryosumarto dan Toashie Okumura, 2008:9)

Keuntungan dari las listrik adalah proses pengelasannya yang sederhana, dapat dipakai dimana saja, set up yang cepat dan sangat mudah untuk diatur, dapat dilas dengan segala posisi, elektroda tersedia dengan mudah dalam banyak ukuran dan diameternya, tingkat kebisingan rendah, tidak terlalu sensitif terhadap korosi.

1. Arus Pengelasan

Arus pengelasan adalah aliran pembawa muatan listrik dari mesin las yang digunakan untuk menyambung dua buah logam dengan mengalirkan panas ke logam pengisi atau elektroda. Besarnya pemakaian arus pengelasan tergantung pada diameter elektroda yang digunakan, geometri sambungan, posisi pengelasan, tebal bahan yang digunakan. Parameter pemakaian arus las langsung mempengaruhi penetrasi dan kecepatan pencairan logam induk, tingginya arus las maka makin besar

penembusan dan kecepatan pencairannya. Pola pemindahan cairan dipengaruhi oleh besar kecil arus dan juga oleh komposisi dari bahan fluks yang digunakan, apabila arus digunakan terlalu rendah maka akan susah menghidupkan nyala api untuk melelehkan elektroda pada lasan, sebaliknya apabila nyala busur listrik terlalu tinggi maka elektroda akan lebih cepat mencair sehingga permukaan hasil pengelasan akan melebar.



(a) Arus tinggi

(b) Arus rendah

Gambar 2. Pemindahan Logam Cair
(Harsono Wiryosumarto dan Toashie Okumura, 2008:9)

Menurut Daryanto (2012:60) mengemukakan bahwa “Besar arus pada pengelasan mempengaruhi hasil pengelasan, bila arus terlalu rendah maka akan menyebabkan sukar penyalaan busur listrik dan busur listrik tidak stabil”. Panas yang terjadi tidak cukup untuk melelehkan logam dasar, sehingga menghasilkan bentuk rigi-rigi las yang kecil dan tidak rata serta penembusan kurang dalam, jika arus terlalu terlalu besar maka elektroda akan mencair terlalu cepat dan menghasilkan permukaan las yang tidak rata dan akan melebar.

Tabel 1. Hubungan Tebal Plat dan Diameter Elektroda dengan Arus

No	Tebal Plat (mm)	Diameter Elektroda (mm)	Kuat Arus (Amper)
1	<1	1,5	20 – 30
2	1 – 1,5	2	36 – 60
3	1,5 – 2,5	2,5	60 – 100
4	2,5 – 4,0	3,2	90 – 120
5	4,0 – 6,0	4	120 – 180
6	6,0 – 10	5	150 – 220
7	10 – 16	6	200 – 300
8	<16	8	280 – 400

Sumber : Workshop Fabrikasi UNP

2. Elektroda las

Elektroda las merupakan bagian terpenting dalam menggunakan las busur listrik karena memegang peranan penting dalam pengelasan listrik yang berfungsi sebagai pembakar yang akan menimbulkan busur nyala. Menurut Mochamad Alip (1989:36) mengemukakan bahwa “elektroda adalah bagian ujung yang berhubungan dengan benda kerja pada rangkaian penghantar arus listrik sebagai sumber panas”.

Proses pemakaian elektroda harus disesuaikan dengan jenis logam induk, ketebalan benda kerja, posisi pengelasan dan lainnya. Pernyataan ini juga diperkuat oleh Ahmad Bakhori, (2017) menyatakan bahwa pemilihan logam pengisi dalam dalam pengelasan itu ditentukan oleh keteraitannya dengan:

- a. Jenis proses las yang akan digunakan.
- b. Jenis material yang akan dilas.

c. Desain sambungan las.

d. Perlakuan panas.

Berdasarkan peraturan American Welding Society (AWS), Spesifikasi kawat las terbungkus Mild Steel diatur dalam AWS A5.1 yang ditandai dengan E XXXX (4 angka) yang artinya sebagai berikut:

E : Elektroda untuk jenis las SMAW

XX : Dua digit pertama sesudah E menunjukkan kekuatan tarik deposit las.

X : Menyatakan posisi pengelasan. angka 1 untuk pengelasan segala posisi dan angka 2 untuk pengelasan posisi datar dibawah tangan.

X : Menyatakan jenis selaput dan jenis arus yang cocok dipakai dalam pengelasan.

Elektroda yang digunakan proses pengujian adalah tipe E 7018 Dengan diameter 3,2 mm, dari tipe elektroda E 7018 didapatkan informasi sebagai berikut:

Contoh E 7018 yang artinya:

- E : Elektroda busur listrik.
- 70 : Kekuatan tarik deposit las adalah 70.000 Ib/in² atau 42 kg/mm².
- 1 : Dapat digunakan semua posisi.
- 3 : jenis selaput elektroda Rutil-Kalium dan pengelasan dengan AC atau DC.

Tabel 2. Spesikasi Elektroda Terbungkus dari Baja Lunak (AWS A5.164T)

Klasifikasi AWS-ASTM	Jenis Fluks	Posisi*) Pengelasan	Jenis listrik	Kekuatan tarik (kg/mm ²)	Kekuatan luluh (kg/mm ²)	Perpanjangan (%)
Kekuatan tarik terendah kelompok E 60 setelah dilaskan adalah 60.000 psi atau 47,2 kg/mm ²						
E6010	Natrium selulosa tinggi	F, V, OH, H	DC polaritas balik	43,6	35,2	22
E6011	Kalium selulosa tinggi	F, V, OH, H	AC/DC polaritas balik	43,6	35,2	22
E6012	Natrium tintania tinggi	F, V, OH, H	AC/DC polaritas lurus	47,1	38,7	17
E6013	Kalium tintania tinggi	F, V, OH, H	AC/DC polaritas ganda	47,1	38,7	17
E6020	Oksida besi tinggi	H-S	AC/DC polaritas lurus	43,6	35,2	25
E6027	Serbuk besi, oksida besi	F	AC/DC polaritas ganda			
		H-S	AC/DC polaritas lurus	43,6	35,2	25
		F	AC/DC polaritas ganda			
Kekuatan tarik terendah kelompok E70 setelah dilaskan adalah 70.000 psi atau 49,2 kg/mm ²						
E7014	Serbuk besi tintania	F, V, OH, H	AC/DC polaritas ganda			17
E7015	Natrium hidrogen rendah	F, V, OH, H	DC polaritas balik			22
E7016	Kalium hirogen rendah	F, V, OH, H	AC/DC polaritas balik			22
E7018	Serbuk besi hidrogen rendah	F, V, OH, H	AC/DC polaritas balik			22
E7018	Serbuk besi titania	H-S, F	AC/DC polaritas ganda	50,6	42,2	17
E7024	Serbuk besi hidrogen rendah	H-S, F	AC/DC polaritas balik			22
E7028						
Klasifikasi AWS-ASTM	Kekuatan tumbuk terendah					
E6010, E6011						
E6027, E7015	2,8 kg-m pada 28,9°C					
E7016, E7018						
E7028	2,8 kg-m pada 17,8°C					
E6012, E6013						
E6020, E7014	Tidak disyaratkan					
E7024						

*) arti simbol:

- F = datar
 V = vertikal
 OH = atas kepala
 H = horizontal
 H-S = horizontal sudut

Sumber : (Harsono wiryosumarto dan Toshie Okumura, 2008)

3. Bahan Fluks

Menurut Harsono wiryosumarto dan Toshie Okumura (2008:10) mengemukakan bahwa pada las elektroda terbungkus, fluks memegang peranan penting, sebab bahan fluks berfungsi sebagai berikut:

- Fluks memfasilitasi penyalan busur dan meningkatkan identitas dan stabilitas busur.
- Fluks menimbulkan gas (CO₂, CO, H₂ dan sebagiannya) yang mengiling busur, guna untuk menjaga butiran logam dan cairan teroksidasi atau nitrasi yang disebabkan oleh kontak dengan atmosfer.

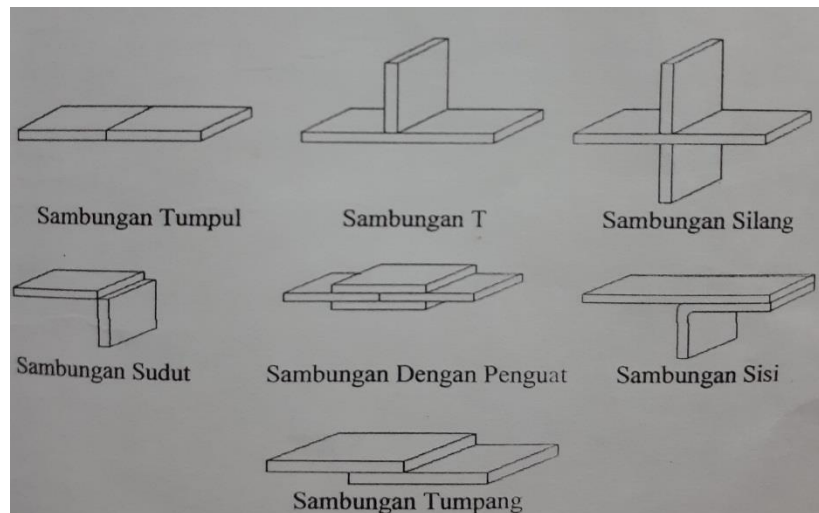
- c. Terak/slag melindungi logam las dan membantunya pembentukan rigi selama pengelasan, fluks mencair menjadi terak yang akan melindungi cairan dan rigi las dengan cara menutupinya.
- d. Fluks menghaluskan kembali logam las dengan deoksidasi, Jika pengelasan dilakukan pada udara terbuka, maka logam las tidak bisa terhindar dari oksidasi. Elemen deoksidasi seperti mangan (Mn) dan silikon (Si) ditambahkan pada fluks, melindungi pembentukan lubang cacing dan meningkatkan kekuatan dari logam las.

4. Sambungan las

Menurut Mochamad Alip, (1989:35) “sambungan adalah bentuk pertemuan antara benda yang disiapkan sesuai dengan ukuran benda kerja dan dirangkai sedemikian rupa sehingga siap untuk las”. Sambungan las merupakan pertemuan dua tepi atau permukaan benda kerja yang disambung dengan proses menggunakan energi panas. Salah satu faktor penting dalam proses pengelasan karena akan menentukan kekuatan sambungan yang akan dilas. penyambungan dua buah logam menjadi satu dilakukan dengan jalan pemanasan atau pelumeran.

Menurut Harsono Wiryosumarto dan Toshie Okumura, (2008:157) mengemukakan bahwa “Sambungan las dalam konstruksi baja pada dasarnya dibagi dalam beberapa sambungan diantaranya:

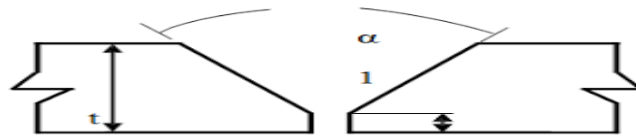
- a. Sambungan tumpul
- b. Sambungan T
- c. Sambungan silang
- d. Sambungan sudut
- e. Sambungan dengan penguat
- f. Sambungan sisi
- g. Sambungan tumpang



Gambar 3. Jenis-jenis sambungan las
(Harsono Wiryosumarto dan Toshie Okumura, 2008:157)

Sambungan las yang paling banyak digunakan oleh para juru las adalah jenis sambungan tumpul (Butt Joint). Menurut Harsono Wiryosumarto Dan Thoshie (2008:158) Mengemukakan bahwa sambungan las tumpul merupakan salah satu jenis sambungan yang efisien, sambungan ini dibagi menjadi dua yaitunya sambungan penetrasi penuh dan sambungan penetrasi sebagian. Sambungan las yang digunakan dalam penelitian ini adalah alur kampuh V tunggal terbuka dengan sudut 60° . Sambungan kampuh V

dipergunakan untuk menyambung logam atau plat dengan ketebalan 6-20 mm dengan sudut jahitan 50° ,jarak akar 0-2 mm dan tinggi akar 0-3 mm (Jasman.2018).



Gambar 4. Kampuh V
(Sumber: Jasman,2018: 21)

Gambar di atas menggambarkan bentuk benda kerja yang akan menjalani proses pengelasan menggunakan kampuh V. Lasan alur dipakai pada pengelasan terbagi pada tiga bagian yaitu lasan penetrasi penuh tanpa plat penahan, lasan penetrasi penuh dengan plat penahan, lasan penetrasi sebagian. Adapun diataranya macam-macam alur sambungan las tumpul dapat dilihat pada gambar 5.

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 (X)			
Tirus ganda (K)			
U ganda (H) (DU)			
J tunggal (J)			
J ganda (D)			

Gambar 5. Alur Sambungan Las Tumpul
(Harsono wiryosumarto dan Toshie Okumuram, 2008: 158)

5. Posisi Pengelasan

Menurut Daryanto (2012:65) mengemukakan bahwa posisi pengelasan dikelompokkan menjadi 4 bagian yaitunya:

a. Posisi dibawah tangan

Posisi bawah tangan merupakan posisi pengelasan yang paling mudah dilakukan, untuk menyelesaikan setiap pekerjaan pengelasan diusahakan pada posisi dibawah tangan. Kemiringan elektroda 10-20 derajat terhadap garis tegak kearah jalan elektroda dan 70-80 derajat.

b. Posisi Datar (horizontal)

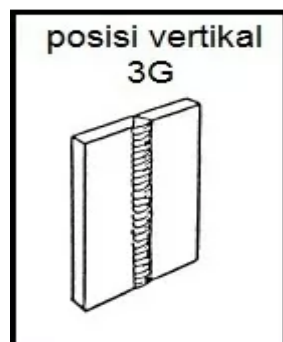
Mengelas dengan horizontal biasa disebut juga dengan datar dimana posisi benda kerja dibuat tegak kearah elektroda mengikuti arah horizontal, pada saat posisi elektroda dibuat miring 5-10 derajat terhadap garis vertical antara 70-80 derajat.

c. Posisi Tegak (vertical)

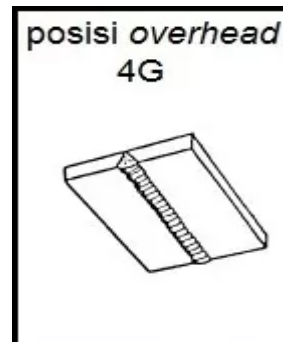
Pengelasan pada posisi tegak yaitunya apabila dilakukan arah pengelasan ke atas atau kebawah. Pengelasan ini termasuk pengelasan yang paling sulit karen bahan cairan logam cenderung mengalir kebawah, kemiringan elektroda 20-15 derajat kebawah terhadap vertical dan 70-80 derajat terhadap benda kerja.

d. Posisi Diatas Kepala (Overhead)

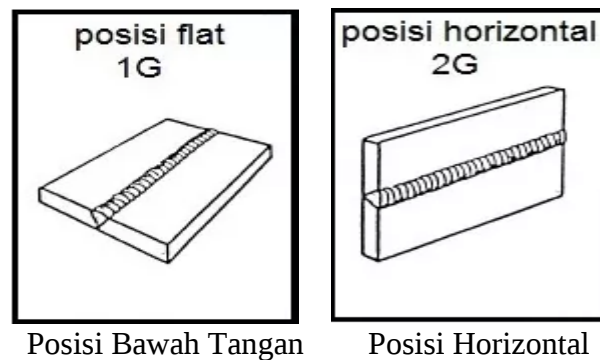
Pengelasan dengan ini sangat sulit dan berbahaya karean bahan cair banyak berjatuhan dapat mengenai pekerja las oleh sebab itu diperlukan perlengkapan yang serba lengkap. Pengelasan dengan posisi ini benda kerja terletak pada bagian atas juru las dan posisi elektroda antara 5-20 derajat terhadap garis vertical dan 75-85 derajat terhadap benda kerja .



Posisi vertikal



Posisi Diatas Kepala



Gambar 6. Posisi-Posisi Pengelasan
 Sumber : <https://www.pengelasan.net/posisi-pengelasan/>

C. Metalurgi las

Aspek metalurgi adalah proses yang meliputi siklus termal dan pengaruhnya terhadap perubahan struktur mikro. Siklus termal itu sendiri merupakan proses pemanasan dan pendinginan di daerah lasan (Harsono Wiryosumarto dan Thoshie Okumura, 2008:58).

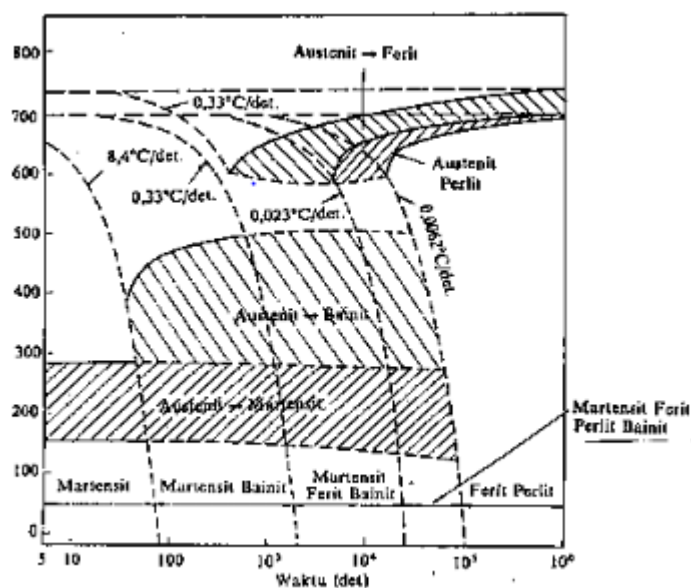
Proses pengelasan tersebut mengalami perubahan pemanasan dan pendinginan cepat sehingga menyebabkan perubahan struktur mikro dan sifat mekanik pada lasan. Menurut Daryanto (2012:19) mengemukakan bahwa proses pengelasan melibatkan pemanasan dan pendinginan dimana kecepatan pendinginan tersebut dapat mempengaruhi sifat mekanik.

1. Diagram CCT (*Continuous Cooling Transformation*)

Pada proses pengelasan, transformasi austenit menjadi ferit merupakan tahap yang paling penting karena akan mempengaruhi struktur logam las, hal ini disebabkan karena sifat-sifat mekanik (mekanis). Faktor-faktor yang mempengaruhi transformasi austenit

menjadi ferit adalah masukan panas, komposisi kimia, kecepatan pendinginan dan bentuk sambungan las. (Joko Santoso, 2006)

Menurut Harsono Wiryosumarto Dan Toshie Okumura, (2008:43) mengemukakan bahwa “ struktur mikro dari baja pada umumnya tergantung kecepatan pendinginannya dari suhu daerah austenit sampai suhu kamar, karena perubahan struktur ini maka dengan sendirinya sifat-sifat mekanik yang dimiliki juga akan berubah. Hubungan antara kecepatan pendinginan dan struktur mikro yang terbentuk biasanya digambarkan dalam diagram yang menghubungkan waktu, suhu dan transformasi, diagram tersebut dikenal dengan diagram CCT (*continuous cooling transformation*).



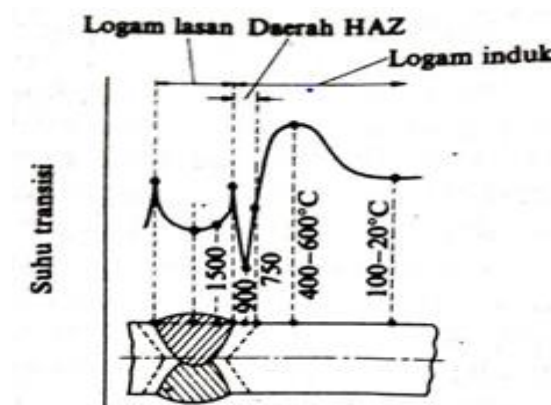
Gambar 7. Diagram CCT Untuk Baja ASTM 4340
(Harsono wiryosumarto dan toshie okumura, 2008:44)

Dari diagram diatas dapat dilihat bahwa bila kecepatan pendinginan naik berarti waktu pendinginan dari suhu austenit turun,

struktur akhir yang terjadi berubah campuran ferit-perlit ke campuran ferit-perlit-bainit-martensit, ferit-bainit- martensit, kemudian bainit-martensit dan akhirnya pada kecepatan yang tinggi sekali struktur akhirnya adalah martensit.

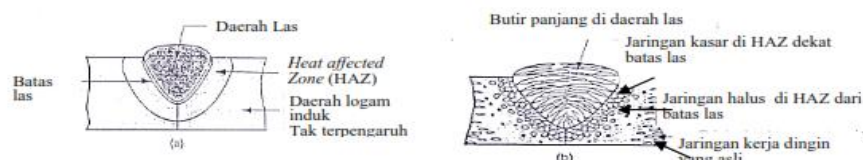
D. Daerah pengaruh panas pengelasan

Proses pengelasan melibatkan adanya pencairan di daerah sambungan, secara metalurgi akan menghasilkan 3 daerah las, yang mana pada masing-masing daerah memiliki temperatur panas yang berbeda-beda. seperti terlihat pada gambar 8.



Gambar 8. Perubahan Temperatur pada Lasan
Sumber : (Harsono Wiryosumarto, Toshi Okumura,2008).

ketiga daerah tersebut adalah daerah *weld metal* (logam las), HAZ (*heat affected zone*), *Parent Metal* (Logam Induk).



Gambar 9. Daerah Metarlugi Lasan
Sumber : (malau, 2003:37)

1. Logam las (*Weld Metal*)

Logam las (*weld metal*) merupakan bagian dari logam yang pada waktu pengelasan mencair kemudian membeku. Proses pembekuan dari logam (*weld metal*) atau logam pengisi (*filler metal*). Busur listrik yang terjadi antara ujung elektroda wolfram dan bahan dasar merupakan sumber panas, untuk pengelasan, titik cair pada daerah las tingginya 1500° C.

2. Daerah HAZ (*Heat Afected Zone*)

Daerah HAZ (*Heat Afected Zone*) adalah daerah pengaruh panas atau daerah dimana logam dasar yang bersebelahan dengan logam las yang selama pengelasan mengalami siklus termal atau pemanasan dan pendinginan dengan cepat. Pada daerah ini biasanya terjadi transformasi struktur mikro, struktur mikro menjadi austenit ketika temperatur naik (panas) dan menjadi martensit ketika temperatur turun (dingin). Transformasi struktur mikro yang terjadi yang terjadi akibat perubahan temperatur menyebabkan daerah HAZ sangat berpotensi mengalami retak (*crack*) dan hal ini sangat perlu untuk di perhatikan untuk mendapatkan hasil las yang sangat baik. Suhu pada daerah HAZ tingginya antara 750°C-900°C.

3. Logam Induk (*Parent Metal*)

Logam induk merupakan logam dasar dimana panas dan suhu pengelasan tidak menyebabkan terjadinya perubahan-perubahan struktur

dan sifat logam las. Suhu pada daerah logam induk mulai 100°C-20°C hingga 400°C-600°C.

E. Siklus Termal Las

Siklus termal las merupakan proses pemanasan dan pendinginan di daerah lasan. Ditunjukkan siklus termal daerah lasan dari las busur listrik dengan elektroda terbungkus, dapat dilihat siklus termal dari beberapa tempat dalam daerah HAZ dengan kondisi pengelasan tetap.

Tabel 3. Perkiraan Waktu Pendinginan pada Beberapa Cara Las Busur

Cara pengelasan	Indeks masukan panas n	Konstanta							
		Waktu pendinginan dari 800°C ke 500°C				Waktu pendinginan dari 800°C ke 300°C			
		K	t_0	α	T	K	t_0	α	T
Las busur terbungkus	1,5	1,35	14,6	6	600	2	14,6	4,5	400
Las busur gas CO ₂	1,7	1/2,9	13	3,5	600	1/2,5	14	5	400
Las busur dengan kawat berisi fluks.	1,35	—	—	—	600	11	14	5	400
Las busur rendam	$\begin{cases} (t < 32) 2,5 - 0,05t \\ (t \geq 32) 0,95 \end{cases}$	$9,5/10^{5-0,22t}$	12	3	600	$7,3/10^{5-0,22t}$	20	7	400

J : Masukan panas = $\frac{60EI}{V}$ (Joule/cm)
 E : Tegangan busur (Volt)
 I : Arus Las (Amper)

V : Laju las (cm/men)
 T : Suhu daerah HAZ (°C)
 T_0 : Suhu mula pelat (°C)
 t : Tebal pelat (mm)

Sumber: (Harsono Wirjosumarto, Toshi Okumura, 2008:8)

F. Baja Karbon

Bahan logam merupakan salah satu bahan yang telah banyak digunakan dalam dunia konstruksi maupun industri, pada umumnya bahan ini digunakan dalam pengelasan. Menurut Hari Amanto dan Daryanto (2003:22) “Baja didefinisikan suatu campuran dari besi dan karbon, dimana unsur karbon (C) menjadi dasar campurannya”. Elemen berikut ini selalu ada dalam baja: karbon, mangan, fosfor, sulfur, silikon, dan sebagian kecil oksigen, nitrogen dan aluminium. Selain itu, ada elemen lain yang ditambahkan untuk

membedakan karakteristik antara beberapa jenis baja diantaranya: mangan, nikel, krom, molybdenum, boron, titanium, vanadium dan niobium.

Fungsi karbon dalam baja adalah sebagai unsur pengeras dengan mencegah dislokasi bergeser pada kisi kristal dari atom penyusun besi. Penambahan kandungan karbon pada baja dapat meningkatkan kekerasan dan kekuatan tariknya, namun di sisi lain membuatnya menjadi getas serta menurunkan keuletannya.

Menurut Harsono Wiryosumarto dan Toshie Okumura (2008: 89) “Baja karbon adalah paduan antara besi dan karbon dengan sedikit Si, Mn, P, S, dan Cu. Baja karbon adalah paduan antara besi dan karbon dengan sedikit Si, Mn, P, S, dan Cu. Sifat baja karbon sangat tergantung pada kadar karbon, bila kadar karbon naik maka kekuatan dan kekerasan juga akan bertambah tinggi.

Sifat baja karbon sangat tergantung pada kadar karbonnya, apabila unsur karbon naik maka kekuatan dan kekerasan juga bertambah tinggi, baja dapat dikelompokkan menjadi berdasarkan unsur karbonnya yang terdiri dari baja karbon rendah, baja karbon sedang, baja karbon tinggi. Menurut Harsono Wiryosumarto dan Toshie Okumura (2008: 90) “ baja karbon rendah adalah baja dengan kadar karbon kurang dari 0,30%, baja karbon sedang mengandung unsur karbon antara 0,30% sampai 0,45%, dan baja karbon tinggi berisi karbon antara 0,45% sampai 1,75% unsur karbon ”.

1. **Baja karbon rendah (*Low Carbon Steel*)**

Menurut Bondan T. Sofyan (2010:53) mengemukakan bahwa “kadar karbon baja ini kurang dari 0,25% serta struktur mikronya terdiri atas ferit dan perlit, sehingga bersifat lunak, tetapi memiliki keuletan dan ketangguhan yang sangat baik”. Baja jenis ini banyak digunakan pembuatan mur baut, ulir sekrup, peralatan senjata, alat pengangkat presisi, batang tarik, perkakas silinder, dan penggunaan yang hampir sama (Hari Amanto dan Daryanto, 1999).

2. **Baja Karbon Sedang (*Medium Carbon Steel*)**

Menurut T. Sofyan (2010:53) “Baja karbon sedang mengandung karbon sebesar 0,25% sampai 0,60% ”. Baja ini mengandung unsur karbon lebih banyak jika dibandingkan pada baja rendah, akan tetapi memiliki keuletan dan ketangguhan yang lebih rendah. Baja ini banyak digunakan untuk sejumlah peralatan mesin seperti roda gigi, otomotif, batang toak, rantai, pagas dan rel kereta api, konstruksi jembatan dan lain-lainnya.

3. **Baja Karbon Tinggi (*High Carbon Steel*)**

Baja karbon tinggi merupakan baja karbon yang paling keras dan serta tidak ulet jika dibandingkan dengan baja karbon rendah dan baja karbon sedang. Menurut T. Sofyan (2010:53) mengemukakan bahwa “Baja karbon tinggi mengandung karbon sebesar 0,60 sampai 1,40%. Baja karbon tinggi ini banyak dipergunakan untuk keperluan pembuatan pegas-pegas, alat-alat perkakas, palu, dan gergaji.

Baja merupakan campuran antara besi (Fe) dan karbon (C), tapi tidak hanya dua unsur tersebut tetapi ada unsur lain seperti fosfor, belerang, mangan, dan silikon dengan kadar tertentu. Unsur-unsur dalam campuran itulah yang mempengaruhi sifat-sifat atau baja pada umumnya.

4. Baja S45C

Material yang digunakan dalam dalam penelitian ini adalah baja S45C yang merupakan produk standarisasi dari jepang yang biasa di singkat JIS (*Japan Industrial Standart*) G 4051. Baja S45C termasuk dalam baja karbon sedang, yang memiliki kandungan unsur utama berupa karbon (C) 0,3-0,5% baja ini memiliki kekuatan untuk diregangkan 570-700 Mpa dan kekerasan brinell diantara 170 dan 210, yang mempunyai sifat mampu untuk dilakukan proses perlakuan panas untuk mendapatkan sifat mekanis yang lebih baik. Hal ini dapat di buktikan dengan pengujian komposisi yang dilakukan oleh PT Globalindo Anugerah Jaya Abadi yang dapat dilihat pada tabel dibawah ini:

Tabel 4. Komposisi Baja S45C

C%	Si%	Mn%	P%	S%
0,42-0,48	0,15-0,35	0,6-0,9	0,030	0,035

(Sumber : Hasil Uji di PT Globalindo Anugerah Jaya Abadi)

Menurut Hari Amanto dan Daryanto (2003:23) unsur-unsur campuran tersebut yaitunya:

a. Unsur Fosfor (P)

Kekerasan baja akan meningkat dengan meningkatnya kadar posfor, tetapi memiliki pengaruh yang berbahaya bagi baja yaitu memberikan pendingan yang cepat, sehingga baja akan getas pada temperatur yang rendah. Kandungan maksimum posfor yang diizinkan adalah 0,05 %.

b. Unsur silikon (Si)

Kandungan silikon pada baja memberikan penepatan kenaikan ukuran butir dan sifat-sifat dalam kekerasan , tambahan pada baja sangat berguna dalam proses pengelasan dan juga untuk menghilangkan gas-gas serta oksidasi serta mencegah terbentuknya celah atau lubang serta meningkatkan ketangguhan baja.

c. Mangan(Mn)

Mangan berfungsi untuk meningkatkan kekuatan, kekerasan, ketahanan terhadap aus. Kandungan mangan biasanya 0,2-1 %.

d. Unsur Sulfur (S)

Kandungan sulfur pada baja akan menyebabkan terbentuknya besi sulfida sehingga titik lelehnya menjadi rendah, memberikan percepatan warna merah dan meningkatnya kegetasan pada temperatur rendah. Sulfur berpengaruh tidak baik pada

kekerasan baja karbon rendah dan menurunkan ketahanan pada korosi, kandungan sulfur maksimum yang diizinkan pada baja adalah 0,05%.

Unsur diatas mempengaruhi sifat-sifat bahan atau logam diantaranya sifat mekanis, sifat fisik, sifat kimia, sifat pengerjaan atau teknologis.

1) Sifat mekanis (sifat mekanik)

Sifat mekanik adalah kemampuan bahan atau kelekuan logam untuk menahan beban yang dikenakan baik beban statis, dinamis atau berubah-ubah pada berbagai keadaan dengan suhu tinggi maupun dibawah nol derajat. Sifat mekanik dari logam tersebut berupa kekuatan, kekenyalan, keuletan, kegetasan, kekerasan, keliatan, ketahanan ausan, dan kekuatan tekan.

Menurut Wiryosumarto dan Toshie Okumura (2008: 45) mengemukakan bahwa kekutan baja terutama pada batas luluhnya sangat tergantung pada ukuran butir camburan atau unsur bajanya. Sifat fisis (sifat fisik) merupakan sifat suatu logam bagaimana keadaan logam itu apabila mengalami peristiwa fisika, contohnya keadaan pada waktu terkena pengaruh panas dan pengaruh listrik.

2) Sifat kimia (sifat kimis)

Sifat kimia adalah sifat bagaimana kondisi bahan tersebut mampu menahan zat kimia yang dikenakan pada bahan tersebut),

misalnya apakah bahan itu larut atau terjadi reaksi apabila terkena suatu larutan.

3) Sifat teknologis

Sifat ini merupakan kemampuan suatu bahan dalam proses pengerjaan secara teknis seperti kemampuan bahan untuk dilas, kemampuan untuk ditimpa, dikerjakan dengan mesin, dan kemampuan untuk dituang.

Tab 5. Klasifikasi Baja Karbon

Jenis dan Kelas		Kadar karbon (%)	Kekuatan luluh (kg/mm ²)	Kekuatan tarik (kg/mm ²)	Perpanjangan (%)	Kekerasan Brinell	Penggunaan
Baja karbon rendah	Baja lunak khusus	00,08	18 – 28	32 – 36	40 - 30	95 –100	Pelat tipis
	Baja sangat lunak	0,08-0,12	20 – 29	36 – 42	40 - 30	80 –120	Batang kawat
	Baja lunak	0,12-0,20	22 – 30	38 – 48	36 - 24	100 –130	
Baja karbon sedang	Baja setengah lunak	0,20-0,30	24 – 36	44 – 55	32 - 22	112-145	Konstruksi umum
	Baja setengah keras	0,30-0,40	30 – 40	50 – 60	30 - 17	140 -170	Komponen Mesin
	Baja keras	0,40-0,50	34 – 46	58 – 70	26 - 14	160 -200	Perkakas, Rel, pegas
Baja karbon tinggi	Baja sangat keras	0,50-0,80	36 – 47	65 – 100	20 - 11	180 – 235	Dan kawat piano

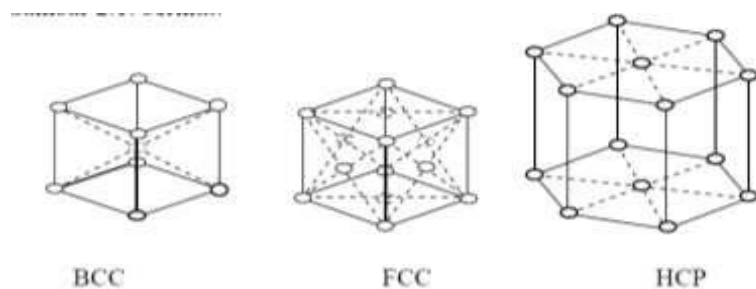
Sumber: (Harsono wiryosumarto, 2008)

G. Struktur Baja

Struktur merupakan bangun dalam dari suatu macam zat yang mana kebanyakan zat itu tersusun dari atom-atom atau molekul-molekul (Rohyana,1999). Logam terdiri dari atom-atom yang tersusun secara teratur

dan membentuk sel-sel satuan kemudian membentuk kristal-kristal yang berbentuk butiran” (Arifin,1977:72). Kristal yang timbul pada suatu logam akan membesar bersama-sama, karena kristal yang timbul membesar bersama-sama, maka kristal yang terjadi kecil-kecil dan bersambungan rapat antara satu dengan yang lain sehingga logam menjadi kuat dan kokoh. Kristal-kristal yang timbul pada suatu logam mempunyai 3 macam bentuk sebagai berikut :

1. Kubus berpusat sisi (muka) atau face centered cubic yang disingkat FCC, pada setiap atom kristal dikelilingi oleh 12 atom lainnya.
2. Kubus berpusat badan (dalam) atau body centered cubic yang disingkat BCC, pada setiap atom kristal dikelilingi oleh 8 atom lainnya.
3. Hexagonal rapat atau hexagonalclose packet yang disingkat dengan HCP, pada setiap atom kristal dikelilingi oleh 12 atom lainnya (Arifin,1977:75).



Gambar 10. Kristal Logam

Macam-macam struktur logam :

- a. Struktur *ferrite*

Struktur *ferrite* disebut juga dengan besi murni. Struktur ferrite dapat berubah-ubah apabila dipanaskan :

1) Besi murni atau besi alfa (α)

Struktur besi murni ferrite atau besi alfa, dibawah suhu 723°C , sifatnya magnetis dan lunak serta susunan kristalnya berbentuk kubus pusat ruang (BBC), seperti pada gambar ini.



Gambar 11. Struktur *Ferrite* Baja Lunak

2) Besi Beta

Struktur *ferrite* pada suhu 768°C - 910°C mulai berubah sifat dari magnetis menjadi tidak magnetis yang disebut besi beta, susunan kristalnya mulai berubah dari kubus pusat ruang (BCC) menjadi kubus pusat bidang (FCC).

3) Besi gamma (besi γ)

Struktur *ferrite* pada suhu 910°C - 1391°C mulai berubah menjadi struktur *austenite* (besi gamma) yang mempunyai sifat tidak magnetis serta susunan kristalnya dalam bentuk kubus pusat bidang (FCC).

4) Besi delta (besi δ)

Struktur ferrite yang sudah menjadi struktur austenite pada suhu 1392°C sampai mencair pada suhu 1539°C berubah menjadi besi delta yang susunan kristalnya sama dengan besi dalam bentuk kubus pusat ruang (BCC) tapi jarak antara atomnya lebih besar (Kurniawan,2007).

b. Struktur *Pearlite*

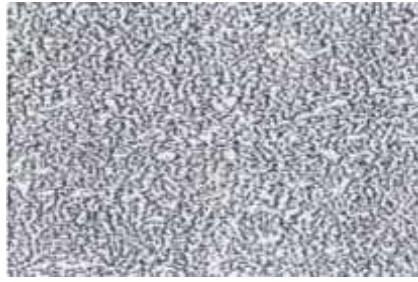
Pearlite adalah campuran dari ferrite dan sementite yang mengandung 0,83%C. Fase ini terjadi dibawah temperatur 723°C . Sifat-sifat besi ini lebih keras dan lebih kuat dari pada ferrite (Arifin,1977:94).



Gambar 12. Struktur *Pearlite*

c. Struktur *Sementite*

Sementite disebut juga karbid besi atau C yang mengandung 6,67 % C. Sifat-sifat besi ini keras, rapuh dan magnetis sampai pemanasan 210°C tapi diatas temperatur 210°C tidak megnetis lagi (Arifin,1977:94).



Gambar 13. Struktur *semantite*

d. Struktur *Austenite*

Austenite yaitu besi gamma (γ) yaitu larutan padat dari karbon pada besi dengan sel kubus berpusat sisi atau muka. Fase ini diatas temperatur 723°C . Sifat- sifat dari baja austenite adalah lunak, tidak magnetis dan dapat ditempa (Arifin,1977:94).

e. Struktur *Martensite*

Struktur martensite sifatnya sangat keras dengan susunan kristalnya berbentuk kubus pusat tetragonal (BCT). Struktur martensite seperti terlihat pada Gambar dibawah ini (Kurniawan,2007).



Gambar 14. Struktur *Martensite*

H. Media Pendingin

Penggunaan media pendingin pada proses perlakuan panas sangat penting dalam pembentukan stuktur logam. Media pendingin merupakan suatu media pendingin yang digunakan untuk menurunkan temperatur logam setelah mengalami perlakuan panas. Dalam hal ini media pendingin pendingin dipengaruhi oleh laju media pendingin tersebut. Laju dari setiap media pendingin itu berbeda-beda, perbedaannya disebabkan oleh viskositas (kekentalan), Densitas (massa jenis) dan temperatur.

Viskositas (kekentalan) merupakan tingkat kekentalan yang dimiliki suatu fluida, semakin tinggi tingkat angka viskositas, maka semakin lambat laju pendinginnya, misalnya pada air garam dan oli, pada air garam memiliki tingkat viskositas yang lebih rendah namun massa jenisnya tinggi sehingga laju pendinginan lebih cepat jika dibandingkan dengan oli yang memiliki tingkat viskositasnya lebih tinggi sehingga sulit untuk menguap dengan cepat sehingga laju pendinginnya lebih lambat.

Densitas adalah merupakan massa jenis yang dimiliki media pendingin (fluida), semakin tinggi densitas yang dimiliki suatu media pendingin maka semakin cepat laju pendinginannya. Berikut nilai viskositas dan densitas dari media pendingin yang digunakan (Streeter, 1992)

1. Air Garam ($\rho = 1025 \text{ kg/m}^3$, $\nu = 1,01 \text{ Pa.s}$)

Air garam memiliki viskositas yang rendah sehingga laju pendinginnya cepat, massa jenisnya lebih besar dibandingkan dengan media pendingin lain diantaranya air, oli dan udara.

2. Air ($\rho = 998 \text{ kg/m}^3$, $\nu = 1,01 \text{ Pa.s}$)

Air memiliki massa jenis yang besar tapi lebih kecil dari air garam, kekentalannya rendah, sama dengan air garam tapi laju pendingin lebih lambat dari air garam.

3. Oli ($\rho = 981 \text{ kg/m}^3$, $\nu = 4,02 \text{ Pa.s}$)

Oli memiliki viskositas atau kekentalan yang tinggi dibandingkan media pendingin lainnya dan massa jenis yang rendah sehingga laju pendinginannya lambat.

4. Udara ($\rho = 1,2 \text{ kg/m}^3$, $\nu = 0,00001,75 \text{ Pa.s}$)

Udara memiliki massa jenis dan viskositas yang sangat kecil sehingga laju pendinginannya sangat lambat.

Media pendingin yang dipakai dalam proses hardening mengakibatkan perubahan sifat fisis, sifat mekanik dan sifat kimia.

Beberapa media pendingin yang digunakan anatara lain.

- a. Air garam

Penambahan garam kedalam media pendingin dilakukan untuk meningkatkan efektifitas pendinginan, hal ini juga dikemukakan oleh pendapat Schonmets (1994: 49) yang menyatakan “Dampak yang lebih kuat terjadi dengan bubuhan soda, garam dapur, asam belerang dan suhu air rendah”. Menurut Taufan (2005) dalam jurnalnya mengemukakan, “Apabila NaCl dilarutkan dalam air, maka ikatan ion positif dan ion negatif terputus dan ion-ion tersebut berinteraksi dengan molekul air.

Apabila baja (Fe_3C) dicelupkan dalam media pendingin larutan air garam akan terjadi pendinginan yang cepat karena apabila airnya menguap dilakukan oleh Rizal (2005), menyatakan bahwa tingkat kekerasan hasil perlakuan panas tertinggi dicapai pada media pendingin larutan garam.

Semakin banyak kadar garam yang terlarut maka tingkat kekerasan yang dicapai semakin tinggi pula. Dapat disimpulkan penggunaan media pendingin larutan air garam akan menghasilkan nilai kekerasan yang lebih tinggi, untuk media pendingin air garam pencampuran komposisinya sebesar 100 gr garam (NaCl) merek cap kerapan sapi yang diproduksi oleh keluarga sejehtera, dan dicampurkan dengan air aqua 1500ml.



Gambar 15. Garam (NaCl)

b. Air sumur

Menurut Rafael candell villa (1995: 34) didalam jurnalnya Hamzah Nur (2017) menyatakan “Air yang ada dipermukaan bumi terdiri dari 7/10 bagian yang berada dalam sirkulasi yang merupakan prasyarat kehidupan diatas bumi”. Air sungai, air bawah tanah dan

bahkan air hujan selalu berisi elemen lain yang larut di dalamnya meskipun dalam jumlah sangat kecil tetapi mampu memainkan peranan penting. Seorang ahli hidrologi yang bernama Michael Batisse dalam Rafael Candell Villa (1995: 41) mengatakan bahwa “setiap tetes air mengandung sedikit garam”, ini berarti bahwa elemen lain yang paling banyak larut dalam air adalah garam.

Air sering digunakan para juru las sebagai media pendinginan terhadap benda yang dilas . Hal ini disebabkan karena air sangat mudah didapatkan dan tidak menambah biaya dalam proses pengelasan. Dalam penelitian ini air yang digunakan dalam proses pendinginnya yaitu air sumur.

c. Oli bekas

Oli memiliki nilai viskositas (kekentalan) yang tertinggi jika dibandingkan dengan media pendingin yang lain dan memiliki massa jenis yang rendah sehingga laju pendinginan lambat dan juga tidak mudah menguap ketika proses pendinginan pada baja yang dilas.

Oli yang digunakan pada media pendingin dalam pengelasan dapat memberikan karbon pada permukaan benda yang dilas dan bertujuan untuk mendapatkan struktur martensit, semakin banyak unsur karbon maka struktur martensit yang terbentuk juga akan semakin keras karena martensit terbentuk dari fasa austenit yang didinginkan secara cepat (Ali Umrah, 2010). Untuk media pendingin yang digunakan pada penelitian ini yaitunya oli bekas

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 lainnya.

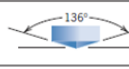
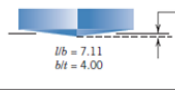
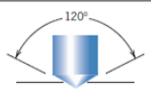
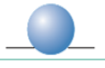
(<http://olibekass.blogspot.com/2014/12/oli-bekas.html>)

I. Uji Kekerasan

Pada penelitian ini diuji sifat mekanik pada aspek kekerasannya (*Hardness*), kekerasan didefinisikan sebagai bentuk ketahanan bahan terhadap permukaannya. Menurut Djapri (1986) mengemukakan bahwa kekerasan adalah ketahanan terhadap deformasi plastis dan permanen. Pada proses heat treatment yang memengaruhi tingkat kekerasan baja adalah kecepatan pendinginannya karena makin cepat laju pendinginan maka kekerasan semakin tinggi. Pendapat lain dari Mochamad Alip (1989:84) “mengemukakan bahwa sifat mekanik bahan adalah reaksi dan ketahanan bahan terhadap beban yang diterima”.

Sifat mekanik antara lain kekuatan (*strenght*), Kekenyalan (*elesticity*), kekekakuan (*stifness*), kekerasan (*hardness*), plasitas(*plascity*), ketangguhan(*toughness*), kelelahan(*fatigue*) dan lainnya. Untuk mengetahui tingkat kekerasan pada bahan dapat dilakukan dengan uji kekerasan Untuk mengetahui nilai kekerasan material ada tiga metoda yang umum digunakan yaitu metoda brinell, rockwell dan vickers (Calisster, 2000). Metoda pengujian ini

dilakukan dengan penekanan indentor dengan gaya dan waktu penekan yang ditentukan pada permukaan benda uji. Pengujian kekerasan adalah satu dari sekian banyak pengujian yang dipakai, karena dapat dilaksanakan pada benda uji yang kecil tanpa kesukaran mengenai spesifikasi.

Test	Indenter	Shape of Indentation		Load	Formula for Hardness Number ^a
		Side View	Top View		
Brinell	10-mm sphere of steel or tungsten carbide			P	$HB = \frac{2P}{\pi D [D - \sqrt{D^2 - d^2}]}$
Vickers microhardness	Diamond pyramid			P	$HV = 1.854P/d_1^2$
Knoop microhardness	Diamond pyramid			P	$HK = 14.2P/t^2$
Rockwell and Superficial Rockwell	{ Diamond cone; $\frac{1}{16}, \frac{1}{8}, \frac{1}{4}, \frac{1}{2}$ in. diameter steel spheres }	 	 	{ 60 kg } Rockwell 100 kg } 150 kg } { 15 kg } Superficial Rockwell 30 kg } 45 kg }	

Gambar 16. Teknik Pengujian Kekerasan
(Sumber: Surdia, T. dan Shinroku, 2006)

Pengujian kekerasan dibagi menjadi tiga bagian yaitu *Brinell*, *Rockwell* dan *Vicker*.

1. Pengujian Kekerasan *Brinell*

Pengujian kekarasan *Brinell* merupakan Pengujian kekerasan brinell merupakan pengujian standar secara industri, tetapi karena penekannya dibuat dari bola baja yang berukuran besar dengan beban besar, maka bahan lunak atau keras sekali tidak dapat diukur kekerasannya (Yahya Abdul Matien, 2016). Menurut Bondan T.Sofyan (2010: 36) “mengemukakan bahwa pengujian kekerasan *brinell* Adalah dengan memberikan beban konstan , umumnya antara 500 dan 3000 kgf,

dengan indentor baja yang dikeraskan berdiameter 5 sampai 10 mm, pada permukaan spesimen yang rata”.

2. Pengujian kekerasan *Vicker*

Pengujian kekerasan *vicker* merupakan pengujian standar secara industri, tetapi karena penekannya dibuat dari bola baja yang berukuran besar dengan beban besar, maka bahan lunak atau keras sekali tidak dapat diukur kekerasannya (Surdia T.1987). Beban untuk logam besi 3000 Kg untuk 10 detik dan untuk logam non besi, lunak sekitar 500 Kg selama 30 detik. Menurut Bondan T.Sofyan (2010:36) “mengemukakan pengujian kekerasan brinell adalah dengan memberikan beban, umum antara 500 dan 3000 kgf, dengan indentor baja yang dikarenakan berdiameter 5 atau 10 mm, pada permukaan spesimen yang rata”.

3. Pengujian Kekerasan *Rockwell*

Pengujian Kekerasan *Rockwell* merupakan pengujian yang banyak digunakan pada dunia industri dan sangat cocok untuk material yang keras atau lunak, penggunaannya sederhana dan penekanannya dapat dengan mudah. Menurut Bondan T. Sofyan(2010:35) mengemukakan bahwa pengujian kekerasan *rockwell* didapatkan dengan mengkombinasikan bentuk indentor dan beban, berikut jenis indentor *rockwell* diantaranya:

- a. Intan yang berbentuk kerucut dengan sudut 120° (indentor brale).
Intan ini digunakan untuk menguji material yang keras (> 100 HRB) dan 83,1 HRT).

- b. Bola baja yang dikeraskan dengan diameter $1/16, 1/8, 1/4$ dan $1/2$ inci jenis ini digunakan untuk menguji material yang lunak. Ada dua jenis pengujian kekerasan *rockwell*, diantaranya *rockwell* yang menggunakan beban minor 10kgf dan beban mayor 60, 100, atau 150kgf, *superfical rockwell* dimana pengungunjian menggunakan beban minor 3 kgf dan mayor 15,30, dan 45 kgf.

Tabel 6. Skala Kekerasan *Rockwell*

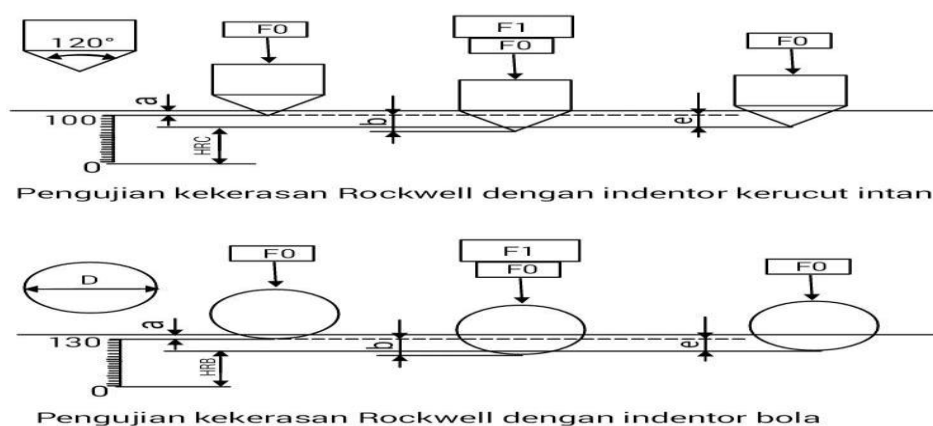
Skala	Penekanan	Beban utama	Dial
B	Bola baja $1/16''$	100	Merah
C	Intan	150	Hitam
A	Intan	60	Hitam
D	Intan	100	Hitam
E	Bola baja $1/8''$	100	Merah
F	Bola baja $1/16''$	60	Merah
G	Bola baja $1/16''$	150	Merah
H	Bola baja $1/8''$	60	Merah
L	Bola baja $1/4''$	60	Merah
P	Bola baja $1/4''$	150	Merah
R	Bola baja $1/2''$	60	Merah
V	Bola baja $1/2''$	150	Merah

(Sumber: Surdia, T. dan Shinroku, 2006)

Dari tabel dapat diketahui bahwa skala uji kekerasan *rockwell* ditentukan oleh jenis indenter dan beban penetrasi. Pengujian kekerasan

Rockwell dilaksanakan dengan cara menekan permukaan spesimen (benda uji) dengan suatu indenter. Penekanan indenter ke dalam benda uji dilakukan dengan menerapkan beban pendahuluan (beban minor), kemudian ditambah dengan beban utama (beban mayor), lalu beban utama dilepaskan sedangkan beban minor masih dipertahankan (Michael Elkan, 2017).

Besarnya beban minor ini adalah 10 kgf sedangkan besarnya beban utama biasanya adalah 50 kgf, 90 kgf, atau 140 kgf. Penerapan beban minor pada intinya dimaksudkan untuk membantu mendudukan indenter didalam benda uji (spesimen) dan menghilangkan pengaruh dari penyimpangan permukaan sehingga menciptakan permukaan spesimen yang siap untuk menerima beban utama. Dengan demikian permukaan benda uji tidak perlu dibuat dengan sehalus dan selicin mungkin



Gambar 17. Cara Kerja Mesin *Rockwell*
(Sumber: Surdia, T. dan Shinroku, 2006)

Keterangan :

F_0 = beban pendahuluan (beban minor)

$F1$ = beban utama (beban mayor)

a = kedalaman penetrasi oleh beban minor

b = kedalaman penetrasi oleh beban total ($F0 + F1$)

e = kedalaman penetrasi setelah beban utama dilepaskan

J. Pertanyaan Penelitian

1. Seberapa besar pengaruh jenis media pendingin air sumur, air garam, oli terhadap *hardness* pada plat baja S45C menggunakan pengelasan SMAW?
2. Mana yang lebih baik jenis media pendingin air sumur, air garam, oli terhadap *hardness* pada plat baja S45C menggunakan pengelasan SMAW?

K. Penelitian Relevan

1. Ali umrah (2010) Pengaruh Variasi Media Pendingin Oli Terhadap Kekerasan Hasil Pengelasan Baja Karbon Sedang. Hasil penelitian ini menunjukkan kekerasan pada sambungan las yang didinginkan melalui variasi media pendingin udara lebih tinggi dari media oli. Kekerasan pada las yang didinginkan udara pada jalur as sebesar 45,66 *HRC*, daerah *HAZ* 45,66 *HRC* dan logam induk 46,00 *HRC* dan oli bekas memiliki nilai kekerasan lebih kecil pada jalur las 18,00 *HRC*, daerah *HAZ* 35,33 *HRC* pada logam induk 42,00 *HRC*.
2. M Darul Saputra (2010). Pengaruh Media Pendingin Terhadap Kekuatan Tarik Hasil Pengelasan Baja Karbon Rendah Menggunakan Las Listrik. Hasil penelitiannya menyebutkan kekuatan tarik sambungan las yang didinginkan dengan menggunakan media pendingin udara lebih tinggi dari pada menggunakan media pendingin air dan oli bekas, disisi yang

lain kekuatan tarik menggunakan media pendingin oli bekas lebih tinggi dari pada media pendinginan air.

3. Yunus Tri Utomo (2018). Pengaruh Media Pendingin Air Garam, Oli Sae 10, Udara Dalam pembuatan Coran Flange Kuningan Dengan Cetakan Logam terhadap Sifat Fisis Dan Mekanis Coran. Hasil penelitian ini menyebutkan tingkat kekerasan tertinggi terdapat pada media pendingin air garam sebesar 44,33 *HRB* dan tingkat kekerasan yang paling rendah berada pada media pendingin Udara sebesar 33,08 *HRB*.
4. Sultoni, dkk. (2019). Analisa Pengaruh Variasi Media Pendingin Air Dan Oli Pada Sambungan *Lap Joint* Terhadap Sifat Mekanik Menggunakan Las SMAW. Dari hasil uji kekerasan dilakukan, diperoleh nilai kekerasan tertinggi pada setiap daerah yaitunya, daerah logam induk pada spesimen dengan perlakuan pendinginan air waktu 2 menit sebesar 45.5 *HRB*, daerah logam las pada spesimen dengan perlakuan pendinginan oli bekas sebesar 84,5 *HRB* dan daerah *HAZ* pada spesimen dengan perlakuan pendinginan air dan udara dengan waktu 2 menit sebesar 59 *HRB*.

BAB V

PENUTUP

A. Kesimpulan

Berdasarkan dari hasil pengujian kekerasan pada baja karbon sedang S45C hasil las *SMAW* dengan perlakuan media pendingin yang berbeda-beda, maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Perlakuan media pendingin terhadap hasil pengelasan las *SMAW* menunjukkan terjadinya peningkatan nilai kekerasan terhadap spesimen *row material*.
2. Penggunaan media pendingin terhadap hasil pengelasan las *SMAW* menunjukkan spesimen dengan media pendingin air garam memiliki nilai rata-rata kekerasan yang paling tinggi jika dibandingkan dengan pendingin yang lain, sedangkan memiliki rata-rata nilai kekerasan yang paling rendah didapatkan melalui spesimen dengan media pendingin udara.
3. Media pendingin mampu mempengaruhi nilai kekerasan nilai kekerasan material, dimana spesimen dengan media pendingin air garam memiliki viskositas yang rendah dan densitas yang paling tinggi diantara media pendingin yang lain, sehingga nilai kekerasan pada baja S45C menggunakan media pendingin air garam menjadi yang paling tinggi. Dari hasil pengujian bahwa spesimen dengan media pendingin air garam memiliki nilai rata-rata kekerasan yang paling tinggi yaitu 21,14 *HRC*, media pendingin air sumur memiliki nilai rata-rata kekerasan sebesar

20,29 *HRC*, media pendingin oli bekas memiliki kekerasan sebesar 18,87 *HRC* dan media pendingin udara memiliki nilai rata-rata kekerasan yang paling rendah sebesar 18,19 *HRC*.

F. Saran

Sesuai dengan hasil penelitian ini, maka disarankan beberapa hal sebagai berikut:

1. Dalam melakukan pengelasan sebaiknya hasil pengelasan tersebut didinginkan dengan media pendingin air garam.
2. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai pengaruh jenis media pendingin air garam, air sumur, oli bekas pada *hardnes* hasil pengelasan baja S45C menggunakan las *SMAW*, agar lebih dapat melihat secara detail nilai dan angka dari pengujian yang digunakan untuk uji pembanding.

DAFTAR PUSTAKA

- Arifin, Syamsul. 1976. *Ilmu Logam*. Jakarta: Ghalia Indonesia
- Aldi Tama,. Ari Wibawa Budi Santoso,. & Untung Budiarto. (2020). *Analisa Kekuatan Tekuk, Kekuatan Puntir, dan Kekerasan Baja S45C dengan Variasi Temperatur Quenching*. Jurnal Teknik Perkapalan (Vol. 8 No.3).
- Ali Umrah. (2010). *Pengaruh Variasi Media Pendingin Oli terhadap kekerasan Hasil pengelasan Baja karbon sedang*. Skripsi. Padang: Universitas Negeri Padang.
- Amir Arifin., Tommy Sulistyawan. (2017). *Peningkatan Kualitas Sambungan Las Baja Karbon Rendah dengan Metode Taguchi*. Jurnal Teknik Mesin Untirta (Vol.III No.2).Hlm. 59-63.
- Ahmad Bakhori. (2017). *Perbaikan Metode Pengelasan SMAW (Shield Metal Arc Welding) Pada Industri Kecil Di Kota Medan*. Jurnal Buletin Utama Teknik (Vol. 13 No.1). Hlm.14-20.
- Bondan T. Sofyan. (2010). *Pengantar Material Teknik*. Jakarta: Salemba Teknika.
- Daryanto. (2012). *Teknik Las*. Bandung: Alfabeta.
- Djafrie, S. *Metalurgi Mekanik Jilid 1*. Terjemahan dari Manufacturing Proses. Jakarta: Erlangga.
- Harsono Wiryosumarto, Toshie Okumura. (2008). *Teknologi Pengelasan Logam*. Jakarta: Pradya Pramita.
- Hari Amanto, Daryanto. (2003). *Ilmu Bahan*. Jakarta: PT Bumi Aksara.
- Harsono Wiryosumarto, Toshie Okumura. (2004). *Teknologi Pengelasan Logam*. Jakarta: Pradya Pramita.
- Hamzah Nur. (2017). *Pengaruh Penggunaan Media Pendingin Air Garam, Air Tawar, dan Air Asam pada Perlakuan Panas terhadap Kekerasan Baja ST 60*. Jurnal Teknologi (Vol.16 No. 1). Hlm.1-11.
- Hatta Catur Prasetyo,. Tri Hartutuk Ningsih. (2018). *Analisa Pengaruh Heat Treatment Terhadap Kekerasan Material Baja S45C untuk Aplikasi Poros Roda Sepeda Motor*. JTM (Vol.06 No.02). Hlm. 29-34.