



**PENGARUH *PRE* DAN *POST HEATING* PADA PROSES
GAS METAL ARC WELDING (GMAW) TERHADAP
STRUKTUR MIKRO DAN KEKUATAN TARIK
BAJA KARBON AISI 1045**

SKRIPSI

Skripsi ini ditulis sebagai salah satu syarat
untuk memperoleh gelar Sarjana Pendidikan
Program Studi Pendidikan Teknik Mesin

UNNES

UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

oleh
Muh. Soni Haryadi
5201412075

**JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG
2016**



**PENGARUH *PRE* DAN *POST HEATING* PADA PROSES
GAS METAL ARC WELDING (GMAW) TERHADAP
STRUKTUR MIKRO DAN KEKUATAN TARIK
BAJA KARBON AISI 1045**

SKRIPSI

Skripsi ini ditulis sebagai salah satu syarat
untuk memperoleh gelar Sarjana Pendidikan
Program Studi Pendidikan Teknik Mesin

UNNES

UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

oleh
Muh. Soni Haryadi
5201412075

**JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG
2016**

HALAMAN PENGESAHAN

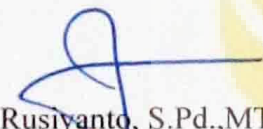
Skripsi dengan judul **“Pengaruh Pre dan Post Heating pada Proses Pengelasan Gas Metal Arc Welding (GMAW) terhadap Struktur Mikro dan Kekuatan Tarik Baja Karbon AISI 1045”** telah dipertahankan di depan sidang Panitia Ujian Skripsi Fakultas Teknik UNNES pada tanggal 10 bulan Oktober tahun 2016.

Oleh


Nama : Muh. Soni Haryadi
NIM : 5201412075
Program Studi : Pendidikan Teknik Mesin S1

Panitia:


Ketua Panitia


Rusiyanto, S.Pd.,MT.
NIP 197403211999031002

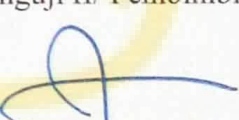
Sekretaris


Dr. Dwi Widjanarko, S.Pd., ST.,MT.
NIP 196901061994031003

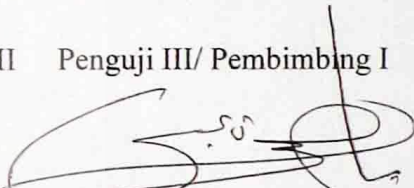
Penguji I


Dr. Rahmat Doni Widodo, ST.,MT.
NIP 197509272006041002

Penguji II/ Pembimbing II



Rusiyanto, S.Pd.,MT.
NIP 197403211999031002

Penguji III/ Pembimbing I


Dr. Ir. Basyirun, S.Pd.,MT.,IPP.
NIP 196809241994031002

Mengetahui
Dekan Fakultas Teknik UNNES




Dr. Nur Qudus, MT.
NIP 196911301994031001

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan di bawah ini

Nama Mahasiswa : Muh. Soni Haryadi
NIM : 5201412075
Program Studi : Pendidikan Teknik Mesin S1
Fakultas : Teknik

Dengan ini menyatakan bahwa skripsi dengan judul "**Pengaruh *Pre dan Post Heating* pada Proses *Gas Metal Arc Welding (GMAW)* terhadap Struktur Mikro dan Kekuatan Tarik Baja Karbon AISI 1045**" ini merupakan hasil karya saya sendiri dan belum pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu perguruan tinggi manapun, dan sepanjang pengetahuan saya dalam skripsi ini tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Semarang, 27 September 2016

Yang membuat pernyataan



Muh. Soni Haryadi

NIM 5201412075

UNNES
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

ABSTRAK

Muh. Soni Haryadi. 2016. Pengaruh *Pre* dan *Post Heating* pada Proses *Gas Metal Arc Welding (GMAW)* terhadap Struktur Mikro dan Kekuatan Tarik Baja Karbon AISI 1045. Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang. Dr. Ir. Basyirun, S.Pd.,MT.,IPP. dan Rusiyanto, S.Pd.,MT.

Latar belakang masalah dalam penelitian ini mempunyai akar masalah pada struktur mikro dan kekuatan tarik baja AISI 1045 hasil pengelasan *Gas Metal Arc Welding (GMAW)*. Konstruksi yang dibuat melalui proses pengelasan akan mengalami fenomena seperti perubahan struktur mikro dan kekuatan tariknya. Hal tersebut disebabkan oleh siklus termal atau pemanasan dan lamanya pendinginan pada proses pengelasan. Pengelasan pada baja karbon sedang memerlukan prosedur khusus, karena meningkatnya kandungan karbon memungkinkan terbentuknya fasa martensit pada logam las dan *Heat Affected Zone (HAZ)*. Oleh karena itu, pada *HAZ* akan terbentuk struktur yang keras, ketangguhan rendah dan peka terhadap retak. Perlu dilakukan pencegahan untuk meminimalkan terjadinya resiko retak dingin tersebut yaitu dengan pemberian perlakuan *Pre* dan *Post Heating*. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh *Pre Heating*, *Post Heating*, serta *Pre* dan *Post Heating* pada proses *GMAW* terhadap struktur mikro dan kekuatan tarik baja karbon AISI 1045.

Metode penelitian yang digunakan adalah eksperimen. Penelitian ini diberi tiga perlakuan, yaitu *Pre Heating* dengan variasi temperatur 150°C, 250°C, 350°C. *Post Heating* dengan variasi temperatur 450°C, 550°C, 650°C. *Pre* dan *Post Heating* dengan variasi temperatur 150°C+450°C, 250°C+550°C, 350°C+650°C. Spesimen kemudian diuji struktur mikro dan kekuatan tarik. Teknik Analisis data yang digunakan yaitu analisis deskriptif.

Hasil pengujian struktur mikro *Pre Heating*, struktur logam las didominasi ferit *acicular*, sedangkan pada *HAZ* yaitu ferit halus. Spesimen *Pre Heating* 150°C mempunyai tegangan maksimum dan regangan tertinggi dibandingkan perlakuan lainnya yaitu sebesar 592,39 MPa dan 7,15%. Perlakuan *Post Heating*, struktur pada logam las didominasi ferit *acicular*, sedangkan pada *HAZ* yaitu ferit halus. Spesimen *Post Heating* 450°C nilai tegangan maksimum sebesar 500,58 MPa. Perlakuan *Pre* dan *Post Heating*, struktur pada logam las didominasi ferit halus dan ferit batas butir, sedangkan pada *HAZ* yaitu ferit halus. Perlakuan *Pre* dan *Post Heating* 150°C+450°C nilai tegangan maksimumnya tertinggi dibandingkan *Pre* dan *Post Heating* lainnya yaitu sebesar 531,19 MPa. Spesimen *Pre* dan *Post Heating* 350°C+650°C mempunyai regangan tertinggi dibanding temperatur *Pre* dan *Post Heating* lainnya yaitu sebesar 5,72%. Penelitian ini disimpulkan bahwa *Pre Heating*, *Post Heating*, *Pre* dan *Post Heating* dapat menyebabkan struktur pada logam las serta *HAZ* lebih besar dan memanjang dengan orientasi acak dibanding spesimen tanpa perlakuan, sehingga kekuatan tariknya lebih tinggi dari spesimen tanpa perlakuan dengan peningkatan sebesar 17,33% pada perlakuan *Pre Heating*, 2,72% pada *Post Heating*, serta 7,80% setelah diberi *Pre* dan *Post Heating*.

Kata kunci: *Pre* dan *Post Heating*, *GMAW*, Struktur Mikro dan Kekuatan Tarik

MOTO DAN PERSEMBAHAN

MOTO

“Maka jika mereka berpaling (dari keimanan), maka katakanlah (Muhammad),”Cukuplah Allah bagiku; tidak ada Tuhan selain Dia. Hanya kepada-Nya aku bertawakal, dan Dia adalah Tuhan yang memiliki ‘Arsy (singgasana) yang agung” (QS At-Taubah: 129)

PERSEMBAHAN

1. Kedua orang tua, Bapak Samiyo dan Ibu Sumini yang senantiasa membimbing, menyayangi, dan mendoakan untuk suksesanku.
2. Kakak Nurlaili Shobriana dan Adik Muhammad Khoirul Imam.
3. Teman-teman Pendidikan Teknik Mesin S1 angkatan 2012.



PRAKATA

Segala puji bagi Allah Subhanahu Wata'ala atas rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyusun skripsi dengan judul “Pengaruh *Pre* dan *Post Heating* pada Proses *Gas Metal Arc Welding (GMAW)* terhadap Struktur Mikro dan Kekuatan Tarik Baja Karbon AISI 1045” dalam rangka menyelesaikan Studi Strata Satu untuk mencapai gelar Sarjana Pendidikan di Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang.

Skripsi ini dapat terselesaikan berkat bimbingan, motivasi dan bantuan dari semua pihak. Oleh karena itu, dengan rendah hati penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu dalam penyelesaian skripsi ini, antara lain:

1. Dr. Ir. Basyirun, S.Pd.,MT.,IPP., selaku dosen pembimbing pertama yang telah memberikan bimbingan, arahan, motivasi, saran dan masukan kepada penulis dalam penyelesaian skripsi ini.
2. Rusiyanto, S.Pd., M.T., selaku dosen pembimbing kedua yang telah memberikan bimbingan, arahan, motivasi, saran dan masukan kepada penulis dalam penyelesaian skripsi ini.
3. Dr. Rahmat Doni Widodo, ST.,MT., selaku dosen penguji utama yang telah memberikan saran dan masukan kepada penulis dalam skripsi ini.
4. Semua pihak yang telah memberikan motivasi, saran dan masukan kepada penulis dalam penyelesaian skripsi ini.

Penulis sudah berusaha dengan maksimal dalam penulisan skripsi ini, akan tetapi tidak ada manusia yang sempurna, oleh karena itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun dalam perbaikan skripsi ini. Semoga Allah Subhanahu Wata'ala membalas kebaikan dari semua pihak yang telah membantu penyelesaian skripsi ini. Semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi pembaca pada umumnya dan dunia pendidikan pada khususnya.

Semarang, September 2016

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
PERNYATAAN KEASLIAN	iii
ABSTRAK	iv
MOTO DAN PERSEMBAHAN	v
PRAKATA	vi
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR SIMBOL DAN SINGKATAN	xiv
BAB I PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang Masalah	1
B. Identifikasi Masalah	3
C. Pembatasan Masalah	5
D. Rumusan Masalah	5
E. Tujuan Penelitian	6
F. Manfaat Penelitian	6
BAB II KAJIAN PUSTAKA	7
A. Kajian Teori	7
1. Proses Pengelasan <i>Gas Metal Arc Welding (GMAW)</i>	7
2. Parameter Pengelasan	10
3. Jenis Arus Pengelasan	13
4. Kawat Las atau <i>Filler</i>	14
5. Gas Lindung	15
6. Kampuh V Terbuka	17
7. Baja Karbon	18
8. Pengelasan Baja Karbon Sedang	19
9. Baja AISI 1045	20
10. <i>Pre Heating</i>	20

11. <i>Post Heating</i>	22
12. Siklus Termal Daerah Lasan	24
13. Diagram <i>Continuous Cooling Transformation (CCT)</i>	26
14. Struktur Mikro Logam Hasil Pengelasan	28
15. Kekuatan Tarik	32
B. Kajian Penelitian yang Relevan.....	40
C. Kerangka Pikir Penelitian.....	43
BAB III METODE PENELITIAN	45
A. Bahan.....	45
B. Alat dan Skema Penelitian.....	45
1. Peralatan Pengelasan	46
2. Peralatan Pemesinan	46
3. Peralatan Pemanas Logam.....	46
4. Peralatan Pengukur Temperatur	46
5. Peralatan Uji Struktur Mikro	46
6. Peralatan Uji Kekuatan Tarik	46
C. Prosedur Penelitian.....	47
1. Diagram Alir Pelaksanaan Penelitian.....	47
2. Proses Penelitian.....	48
D. Data Penelitian.....	55
E. Teknik Analisis Data.....	56
BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN	58
A. Hasil Penelitian	58
1. Hasil Pengujian Struktur Mikro	58
a. Logam Induk	59
b. Logam Las.....	64
c. Daerah <i>HAZ</i>	69
2. Hasil Pengujian Tarik.....	74
a. Perlakuan <i>Pre Heating</i>	74
b. Perlakuan <i>Post Heating</i>	77

c. Perlakuan <i>Pre</i> dan <i>Post Heating</i>	80
B. Pembahasan.....	85
C. Keterbatasan Penelitian	97
BAB V PENUTUP	98
A. Simpulan	98
B. Saran.....	99
DAFTAR PUSTAKA	100
LAMPIRAN	103



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Efisiensi Proses Pengelasan	11
Tabel 2.2. Spesifikasi Berbagai Jenis <i>Filler GMAW</i>	15
Tabel 2.3. Klasifikasi Baja Karbon	18
Tabel 2.4. Suhu Pemanasan Mula pada Pengelasan Baja Karbon Sedang-Tinggi.....	19
Tabel 2.5. Komposisi Kimia Baja AISI 1045	20
Tabel 3.1. Rincian Pemotongan Bahan untuk Benda Kerja Las	48
Tabel 3.2. Tabel Hasil Pengujian Tarik	56



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Skema Proses <i>GMAW</i>	7
Gambar 2.2. Peralatan dalam proses <i>GMAW</i>	9
Gambar 2.3. Kampuh V Terbuka.....	17
Gambar 2.4. Pengaruh <i>Pre Heating</i> terhadap kecepatan pendinginan pengelasan sebagai fungsi dari heat input (tebal plat: 19 mm).....	21
Gambar 2.5. Arah Pembekuan dari Logam Las.....	24
Gambar 2.6. Bagian Las.....	25
Gambar 2.7 Transformasi fasa pada logam hasil pengelasan.....	26
Gambar 2.8. Diagram <i>Continous Cooling Transformation (CCT)</i>	27
Gambar 2.9. Struktur Ferit Batas Butir atau <i>Grain Boundary Ferrite (GF)</i>	29
Gambar 2.10. Struktur Ferit <i>Widmanstätten</i>	29
Gambar 2.11. Struktur Ferit <i>Acicular</i>	30
Gambar 2.12. Struktur Bainit.....	30
Gambar 2.13. Struktur Martensit.....	31
Gambar 2.14. Struktur Ferit dan Perlit.....	32
Gambar 2.15. Skema Tegangan-Regangan pada Modulus Elastisitas.....	34
Gambar 2.16. Profil Data Hasil Uji Kekuatan Tarik.....	34
Gambar 2.17. Tipe Kurva Tegangan-Regangan.....	37
Gambar 2.18. Standar ASTM E8/EM8-09 untuk Spesimen Uji Tarik.....	39
Gambar 2.19. Kerangka Pikir Penelitian.....	44
Gambar 3.1. Diagram Alir Pelaksanaan Penelitian.....	47
Gambar 3.2. Kampuh V Tunggal.....	49
Gambar 3.3. Spesimen Uji Struktur mikro.....	51
Gambar 3.4. Spesimen Uji Kekuatan Tarik.....	51
Gambar 3.5. Alat Uji Struktur Mikro.....	52
Gambar 3.6. Alat Uji Tarik jenis <i>Universal Testing Machine</i> “Controlab”.....	54
Gambar 4.1. Struktur Mikro Baja Karbon Sedang.....	58
Gambar 4.2. Struktur Mikro Logam Induk Tanpa Perlakuan.....	59
Gambar 4.3. Struktur Mikro Logam Induk <i>Pre Heating</i> 150°C.....	59
Gambar 4.4. Struktur Mikro Logam Induk <i>Pre Heating</i> 250°C.....	60
Gambar 4.5. Struktur Mikro Logam Induk <i>Pre Heating</i> 350°C.....	60

Gambar 4.6. Struktur Mikro Logam Induk <i>Post Heating</i> 450°C	61
Gambar 4.7. Struktur Mikro Logam Induk <i>Post Heating</i> 550°C	61
Gambar 4.8. Struktur Mikro Logam Induk <i>Post Heating</i> 650°C	62
Gambar 4.9. Struktur Mikro Logam Induk <i>Pre dan Post Heating</i> 150°C+450°C.....	62
Gambar 4.10. Struktur Mikro Logam Induk <i>Pre dan Post Heating</i> 250°C+550°C	63
Gambar 4.11. Struktur Mikro Logam Induk <i>Pre dan Post Heating</i> 350°C+650°C	63
Gambar 4.12. Struktur Mikro Logam Las Tanpa Perlakuan.....	64
Gambar 4.13. Struktur Mikro Logam Las <i>Pre Heating</i> 150°C	64
Gambar 4.14. Struktur Mikro Logam Las <i>Pre Heating</i> 250°C	65
Gambar 4.15. Struktur Mikro Logam Las <i>Pre Heating</i> 350°C	65
Gambar 4.16. Struktur Mikro Logam Las <i>Post Heating</i> 450°C.....	66
Gambar 4.17. Struktur Mikro Logam Las <i>Post Heating</i> 550°C.....	66
Gambar 4.18. Struktur Mikro Logam Las <i>Post Heating</i> 650°C.....	67
Gambar 4.19. Struktur Mikro Logam Las <i>Pre dan Post Heating</i> 150°C+450°C	67
Gambar 4.20. Struktur Mikro Logam Las <i>Pre dan Post Heating</i> 250°C+550°C.....	68
Gambar 4.21. Struktur Mikro Logam Las <i>Pre dan Post Heating</i> 350°C+650°C.....	68
Gambar 4.22. Struktur Mikro Daerah HAZ Tanpa Perlakuan.....	69
Gambar 4.23. Struktur Mikro Daerah HAZ <i>Pre Heating</i> 150°C	69
Gambar 4.24. Struktur Mikro Daerah HAZ <i>Pre Heating</i> 250°C	70
Gambar 4.25. Struktur Mikro Daerah HAZ <i>Pre Heating</i> 350°C	70
Gambar 4.26. Struktur Mikro Daerah HAZ <i>Post Heating</i> 450°C.....	71
Gambar 4.27. Struktur Mikro Daerah HAZ <i>Post Heating</i> 550°C.....	71
Gambar 4.28. Struktur Mikro Daerah HAZ <i>Post Heating</i> 650°C.....	72
Gambar 4.29. Struktur Mikro Daerah HAZ <i>Pre dan Post Heating</i> 150°C+450°C	72
Gambar 4.30. Struktur Mikro Daerah HAZ <i>Pre dan Post Heating</i> 250°C+550°C.....	73
Gambar 4.31. Struktur Mikro Daerah HAZ <i>Pre dan Post Heating</i> 350°C+650°C.....	73
Gambar 4.32. Grafik Tegangan Proporsional <i>Pre Heating</i>	74
Gambar 4.33. Grafik Tegangan Maksimum <i>Pre Heating</i>	75
Gambar 4.34. Grafik Regangan <i>Pre Heating</i>	76
Gambar 4.35. Grafik Tegangan Proporsional <i>Post Heating</i>	77
Gambar 4.36. Grafik Tegangan Maksimum <i>Post Heating</i>	78
Gambar 4.37. Grafik Regangan <i>Post Heating</i>	79

Gambar 4.38. Grafik Tegangan Proporsional <i>Pre</i> dan <i>Post Heating</i>	80
Gambar 4.39. Grafik Tegangan Maksimum <i>Pre</i> dan <i>Post Heating</i>	81
Gambar 4.40. Grafik Regangan <i>Pre</i> dan <i>Post Heating</i>	82
Gambar 4.41. Grafik Tegangan Proporsional dari Semua Perlakuan	83
Gambar 4.42. Grafik Tegangan Maksimum dari Semua Perlakuan	84
Gambar 4.43. Grafik Regangan dari Semua Perlakuan	84
Gambar 4.44. Struktur Mikro Logam Las <i>Pre Heating</i>	87
Gambar 4.45. Struktur Mikro <i>HAZ Pre Heating</i>	87
Gambar 4.46. Struktur Mikro Logam Las <i>Post Heating</i>	90
Gambar 4.47. Struktur Mikro <i>HAZ Post Heating</i>	91
Gambar 4.48. Struktur Mikro Logam Las <i>Pre</i> dan <i>Post Heating</i>	93
Gambar 4.49. Struktur Mikro <i>HAZ Pre</i> dan <i>Post Heating</i>	94



DAFTAR SIMBOL DAN SINGKATAN

SIMBOL	ARTI
$^{\circ}\text{C}$	= Derajat Celcius
$^{\circ}$	= Derajat
%	= Persen
F	= Gaya
A_0	= Luas mula dan penampang
L_0	= Panjang batang uji sebelum ditarik
L_f	= Panjang setelah diuji tarik
ΔL	= Selisih panjang sebelum dan setelah diuji tarik
P_U	= Beban <i>Ultimate</i>
P_P	= Beban Proporsional
P	= Beban yang digunakan
h_U	= Tinggi <i>Ultimate</i>
h_P	= Tinggi Proporsional
σ_U	= Tegangan Maksimum atau <i>Ultimate</i>
σ_P	= Tegangan Proporsional
ε	= <i>Elongasi</i> atau regangan
γ	= <i>austenite</i>
α	= <i>ferit</i>
SINGKATAN	KEPANJANGAN
A	= <i>Ampere</i>
E	= Elektroda
AC	= <i>Alternating Curent</i>
DC	= <i>Direct Curent</i>
mm	= Milimeter
Kg	= Kilogram
N	= Newton
F	= <i>Forhand</i>
V	= <i>Vertical</i>

OH	= <i>Over Head</i>
HAZ	= <i>Heat Affected Zone</i>
MPa	= <i>Mega Pascal</i>
AWS	= <i>American Welding Society</i>
AISI	= <i>American Institute Steel and Iron</i>
ASTM	= <i>American Standart Testing Machine</i>
C	= <i>Celcius</i>
GMAW	= <i>Gas Metal Arc Welding</i>
HAZ	= <i>Heat Affected Zone</i>
MIG	= <i>Metal Inert Gas</i>
MAG	= <i>Metal Active Gas</i>
ASTM	= <i>American Society of Testing and Material</i>
FCC	= <i>Face Centered Cubic</i>
BCC	= <i>Body Centered Cube</i>
CCT	= <i>Continuous Cooling Transformation</i>
HI	= <i>Heat Input</i>
FA	= <i>Ferit Acicular</i>
FBB	= <i>Ferit Batas Butir</i>
FW	= <i>Ferit Widmanstatten</i>
PWHT	= <i>Post Weld Heat Treatment</i>
IPWH	= <i>Intermediete Post Weld Heating</i>
Teg.	= <i>Tegangan</i>



BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang Masalah

Konstruksi yang dibuat melalui proses pengelasan akan mengalami fenomena seperti perubahan struktur mikro dan kekuatan tariknya. Hal tersebut disebabkan oleh prinsip proses pengelasan, di mana penyambungan diperoleh dari pencairan sambungan logam induk dan bahan pengisi (elektroda atau *filler*) yang membeku membentuk logam las, akibat pemanasan yang timbul dari busur listrik antara ujung bahan pengisi dan permukaan benda kerja. Panas yang diakibatkan proses pengelasan bisa mencapai temperatur 732°C-1539°C. Temperatur tersebut menyebabkan setiap titik pada daerah hasil lasan mengalami pemanasan dan laju pendinginan yang berbeda atau biasa disebut dengan siklus termal las.

Heat Affected Zone (HAZ) atau daerah logam induk yang bersebelahan dengan logam las di mana selama proses pengelasan mengalami siklus termal las harus diperhatikan lebih. Menurut Wiryosumarto dan Okumura (2000: 58-59), lamanya pendinginan dalam suatu daerah temperatur dari suatu siklus termal las sangat mempengaruhi kualitas sambungan. Struktur mikro dan kekuatan tarik pada *HAZ* sebagian besar tergantung pada lamanya pendinginan dari temperatur 800°C sampai 500°C. Proses pengelasan juga dapat menimbulkan retak dingin, di mana hidrogen memegang peranan penting, sehingga terjadinya sangat tergantung oleh lamanya pendinginan dari temperatur 800°C sampai 300°C atau 100°C.

Energi panas yang digunakan dalam pengelasan menyebabkan sifat-sifat logamnya dapat berubah karena panas pengelasan tersebut dan logam di sekitar

lasan mengalami siklus termal cepat yang menyebabkan terjadinya perubahan-perubahan metalurgi yang rumit, deformasi dan tegangan-tegangan termal. Hal tersebut sangat erat hubungannya dengan ketangguhan, cacat las, retak dan lain sebagainya yang pada umumnya mempunyai pengaruh terhadap keamanan dari konstruksi yang dilas. Struktur mikro dari baja sangat tergantung pada kecepatan pendinginannya dari suhu daerah austenit sampai ke suhu kamar, sehingga dengan sendirinya sifat-sifat mekanik (kekuatan tarik) yang dimiliki juga berubah.

Penelitian mengenai proses *Gas Metal Arc Welding (GMAW)* ini menggunakan bahan AISI 1045. Bahan tersebut termasuk baja karbon sedang. Terdapat permasalahan pengelasan pada baja karbon sedang yaitu memerlukan prosedur khusus apabila akan dilas jika dibandingkan baja karbon rendah karena kadar karbon cukup tinggi. Menurut Sonawan dan Suratman (2004: 40), meningkatnya kandungan karbon memungkinkan terbentuknya fasa martensit pada logam las dan *Heat Affected Zone (HAZ)*. Oleh karena itu, pada *HAZ* akan terbentuk struktur yang keras, ketangguhan rendah dan peka terhadap retak.

Baja karbon sedang seperti AISI 1045 kadar karbonnya mencapai $\pm 0,5\%$. Kandungan karbon dan unsur lain pada baja ini dapat memperkeras baja. Daerah *HAZ* mudah menjadi keras bila dibandingkan baja karbon rendah, sehingga hal tersebut dapat mempengaruhi struktur mikro dan kekuatan tariknya. Sifat baja yang mudah menjadi keras ditambah adanya hidrogen difusi menyebabkan baja ini sangat peka terhadap retak las. Oleh karena itu, untuk mengatasi permasalahan tersebut diperlukan perlakuan terhadap proses *GMAW* pada bahan baja karbon sedang yaitu dengan cara *Pre Heating* atau pemanasan sebelum proses pengelasan dan *Post Heating* atau pemanasan sesaat setelah proses pengelasan.

Pemberian *Pre Heating* sebelum pengelasan dapat mengurangi retak las serta laju pendinginan di logam las dan *HAZ*, karena pengelasan pada baja karbon sedang dan tinggi dapat memunculkan fasa martensit di logam las dan *HAZ*. Penyebab munculnya martensit ini karena tingginya karbon dan tingginya laju pendinginan. Menurut Rusnoto (2014: 78), kekuatan tarik meningkat seiring dengan penambahan temperatur *Pre Heating*. Proses *Pre Heating* dapat mengubah bentuk dan ukuran pada daerah las dan *HAZ* serta meningkatkan kekuatan tarik di daerah las (Yunaidi dan Ilman, 2012: 6).

Pemberian perlakuan pengelasan pada baja karbon sedang dan tinggi selain *Pre Heating* yaitu *Post Heating* atau pemanasan setelah proses pengelasan selesai. Pemberian *Post Heating* dapat meminimalisasi adanya retak dingin atau retak hidrogen yang terjadi akibat tingginya tegangan sisa pada produk las. Fungsi selain menurunkan tegangan sisa, *Post Heating* juga dapat meningkatkan keuletan di *HAZ* dan memperbaiki sifat mampu las daerah logam dan *HAZ*. Menurut Darsin, *et al.* (2010: 74), nilai kekuatan tarik meningkat dengan kenaikan tertinggi apabila diberikan *Pre* dan *Post Heating* sekaligus.

Mengingat pentingnya beberapa permasalahan di atas, maka diperlukan suatu penelitian tentang pemberian *Pre* dan *Post Heating* pada proses *GMAW* untuk mengetahui seberapa besar pengaruhnya terhadap struktur mikro dan kekuatan tarik pada baja karbon AISI 1045.

B. Identifikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah, bahwa siklus termal las (pemanasan dan laju pendinginan las) sangat berpengaruh terhadap struktur mikro dan sifat

mekanik dalam hal ini kekuatan tarik. Siklus termal las dipengaruhi oleh tegangan, arus, dan kecepatan pengelasan yang nantinya akan mempengaruhi struktur mikro dan kekuatan tarik. Pengelasan busur listrik seperti *Gas Metal Arc Welding (GMAW)* dengan tegangan rendah akan menghasilkan manik las yang sempit, sedangkan tegangan yang tinggi menghasilkan manik las yang lebar dan datar. Arus pengelasan yang digunakan semakin besar, maka dapat memperdalam penetrasi dan memperlebar *Heat Affected Zone (HAZ)*, memperlebar manik las, dan sebaliknya. Kecepatan pengelasan berbanding lurus dengan arus las, karena itu pengelasan yang cepat memerlukan arus las yang tinggi dan kenaikan kecepatan akan memperbesar penembusan. Kecepatan pengelasan semakin cepat maka masukan panas per satuan panjang juga akan menjadi kecil, sehingga pendinginan akan berjalan cepat yang dapat memperkeras *HAZ*.

Faktor lain yang mempengaruhi struktur mikro dan kekuatan tarik logam hasil pengelasan yaitu pergerakan elektroda. Tujuan utama dari pergerakan elektroda yaitu untuk mendapatkan deposit logam las dengan permukaan yang rata dan halus, serta untuk menghindari terjadinya takikan dan pencampuran terak. Gerakan elektroda juga disesuaikan dengan posisi pengelasan yang digunakan, apakah bawah tangan, vertikal, horisontal, atas kepala dan lain sebagainya. Pemberian pemanasan mula atau *Pre Heating* dan pemanasan setelah pengelasan atau *Post Heating* juga akan mempengaruhi siklus termal las. Perlakuan tersebut berfungsi memperlambat laju pendinginan pada pengelasan, menurunkan nilai kekerasan pada logam las dan *HAZ*, sehingga terhindar dari retak dingin atau hidrogen, menurunkan tegangan sisa (tegangan tarik), meningkatkan keuletan logam las, dan memperbaiki sifat mampu las pada daerah logam las dan *HAZ*.

C. Pembatasan Masalah

Mengingat banyaknya faktor yang mempengaruhi siklus termal proses pengelasan, maka penelitian ini dibatasi yaitu pengaruh *Pre* dan *Post Heating* pada proses *GMAW* terhadap struktur mikro dengan ketentuan sebagai berikut:

1. Pengelasan yang digunakan adalah *Gas Metal Arc Welding (GMAW)*.
2. Bahan yang digunakan yaitu baja karbon AISI 1045.
3. Arus yang digunakan 150 *Ampere* (arus searah) dan tegangan 25 *Volt*.
4. Kawat las atau *filler* AWS A5.18 spesifikasi *American Welding Society*.
5. Jarak Kawat las atau *filler* dengan logam induk diasumsikan 3 mm dan kecepatan pengelasannya stabil.
6. Gas lindung yang digunakan yaitu Argon *Ultra High Purity (UHP)*.
7. Proses *GMAW* akan mendapatkan perlakuan *Pre Heating* dengan variasi temperatur 150°C, 250°C, dan 350°C serta pemberian *Post Heating* dengan variasi temperatur 450°C, 550°C, dan 650°C.
8. Waktu pendinginan, jarak dan waktu dari pemanasan ke proses pengelasan pada pemberian *Pre Heating* tidak ditentukan dengan asumsi sama untuk semua variasi temperatur. Temperatur setelah pengelasan, jarak dan waktu dari pengelasan ke proses pemanasan pada perlakuan *Post Heating* tidak ditentukan dengan asumsi sama untuk semua variasi temperatur.

D. Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Seberapa besarkah pengaruh *Pre Heating* pada proses *GMAW* terhadap struktur mikro dan kekuatan tarik baja karbon AISI 1045?

2. Seberapa besarkah pengaruh *Post Heating* pada proses *GMAW* terhadap struktur mikro dan kekuatan tarik baja karbon AISI 1045?
3. Seberapa besarkah pengaruh *Pre* dan *Post Heating* pada proses *GMAW* terhadap struktur mikro dan kekuatan tarik baja karbon AISI 1045?

E. Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini sebagai berikut untuk:

1. Mengetahui seberapa besar pengaruh *Pre Heating* pada proses *GMAW* terhadap struktur mikro dan kekuatan tarik baja karbon AISI 1045.
2. Mengetahui seberapa besar pengaruh *Post Heating* pada proses *GMAW* terhadap struktur mikro dan kekuatan tarik baja karbon AISI 1045.
3. Mengetahui seberapa besar pengaruh *Pre* dan *Post Heating* pada proses *GMAW* terhadap struktur mikro dan kekuatan tarik baja karbon AISI 1045.

F. Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Untuk mengetahui perlu dan tidaknya pemberian *Pre Heating* pada proses *GMAW* pada baja karbon AISI 1045.
2. Untuk mengetahui perlu dan tidaknya pemberian *Post Heating* pada proses *GMAW* pada baja karbon AISI 1045.
3. Untuk mengetahui perlu dan tidaknya pemberian *Pre* dan *Post Heating* pada proses *GMAW* pada baja karbon AISI 1045.

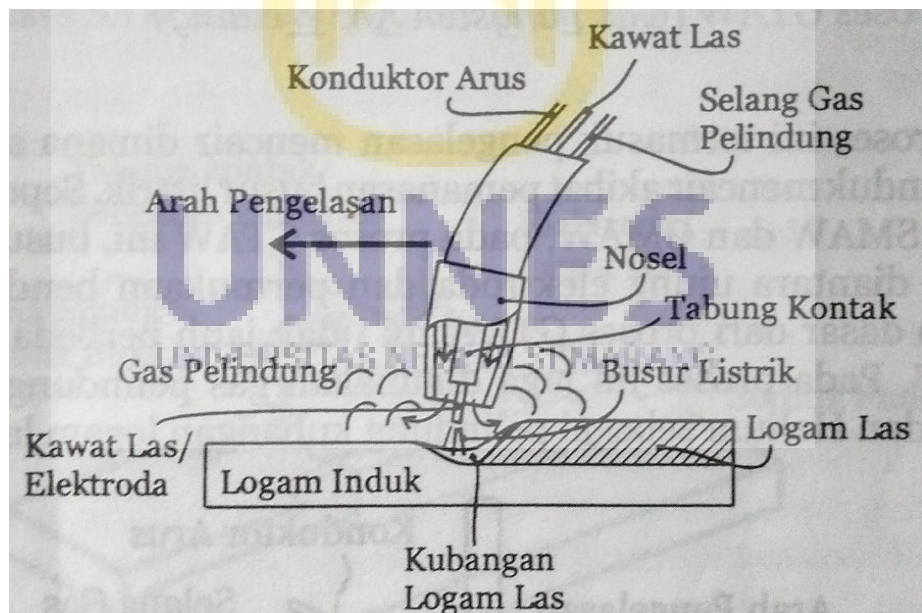
BAB II

KAJIAN PUSTAKA

A. Kajian Teori

1. Proses Pengelasan Gas Metal Arc Welding (GMAW)

Proses pengelasan ini juga disebut dengan *Metal Inert Gas (MIG)*. Proses lain yang serupa dengan *MIG* adalah *Metal Active Gas (MAG)*. Perbedaan *MIG* dan *MAG* terletak pada gas pelindung yang digunakan. *MIG* menggunakan gas pelindung berupa gas *Inert* seperti Argon (Ar) dan Helium (He), sedangkan pada *MAG* digunakan gas-gas seperti Ar + CO₂, Ar + O₂ atau CO₂. Prinsip dasar dari proses *GMAW* ini tidak jauh berbeda dengan *SMAW* yaitu penyambungan diperoleh dari proses pencairan sambungan logam induk dan elektroda yang nantinya membeku membentuk logam las (Sonawan dan Suratman, 2004: 4).



Gambar 2.1. Skema Proses GMAW
(Sumber: Sonawan dan Suratman, 2004: 5)

Proses pengelasan *Gas Metal Arc Welding (GMAW)* semakin maju pada perkembangan proses las busur listrik dikarenakan produktivitas yang lebih tinggi dan kualitas yang bagus (Ibrahim, *et al.*, 2012: 1502). Parameter pengelasan *GMAW* sangat mempengaruhi kualitas, produktivitas, dan biaya pengelasan. Busur listrik yang sempurna akan didapatkan apabila semua parameter pengelasan tepat. Parameter-parameter tersebut meliputi arus pengelasan, tegangan, kecepatan pengelasan, sudut *torch*, panjang kawat las yang bebas, jarak nosel, posisi pengelasan, dan kecepatan aliran gas (Ibrahim, *et al.*, 2012: 1503).

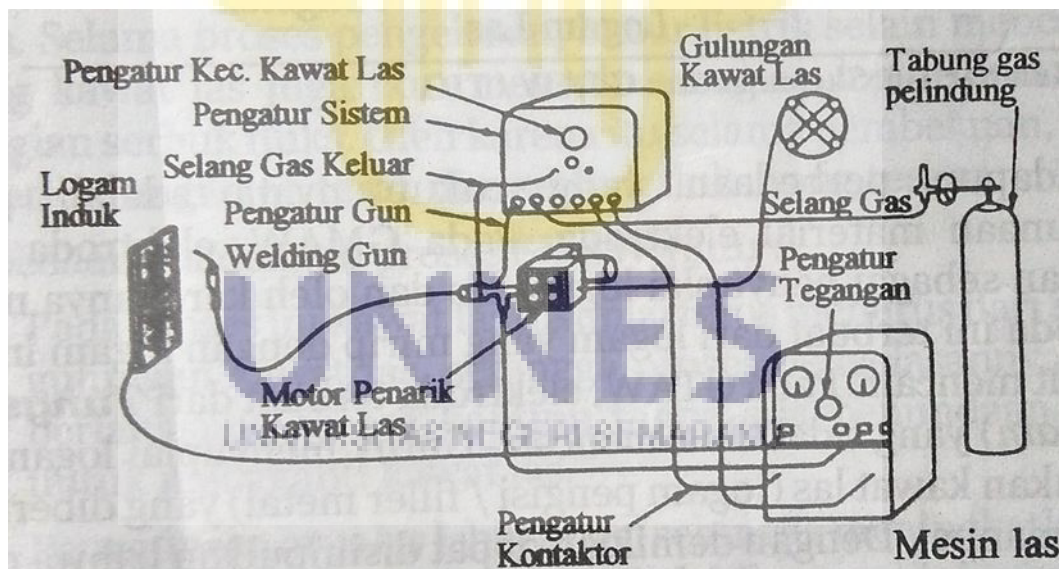
Menurut Alip (1989: 15), keberhasilan pemakaian gas inti pada las tungsten dicobakan pula pada las elektroda gulungan pada tahun 1950an. Proses ini selanjutnya disebut *Gas Metal Arc Welding (GMAW)*. Sering pula disebut las *Metal Inert Gas (MIG)*. Proses pengelasan memakai gas aktif sebagai pelindung lasan sering disebut pula *Metal Active Gas (MAG)*. Pelindung gas lebih baik dari pelindung kristal maupun pembungkus elektroda karena tidak meninggalkan terak, sehingga memudahkan kontrol terhadap kawah lasan dan mengurangi waktu maupun tenaga untuk menghilangkan terak.

Pengelasan ini dapat dilaksanakan secara semi otomatis atau *full* otomatis. “Jenis las ini dapat digunakan untuk mengelas baja karbon, baja paduan rendah berkekuatan tinggi, *stainless steel*, aluminium, tembaga, titanium, dan paduan nikel dalam segala posisi dengan mengubah jenis gas lindung, elektroda, variabel las lainnya” (ASM Handbook Volume 6, 1993). Tenaga listrik pengelasan ini menggunakan arus bolak-balik (AC) mulai dari 230/460 VAC dengan frekuensi baik 50 maupun 60 hertz (Hz). *GMAW* menggunakan arus dan kecepatan pasok kawat yang tetap, maka apabila obor bergerak menjauh, elektroda akan

memanjang keluar dan amperenya juga akan naik, sehingga panjang busur nyala selalu tetap (Widharto, 2007: 142).

Kajian teori yang diuraikan di atas akan berguna bagi peneliti, karena penyambungan logam pada penelitian ini menggunakan proses *Gas Metal Arc Welding (GMAW)*. Proses tersebut dipilih karena mempunyai kecepatan dan daya tembus yang tinggi tanpa terjadi percikan. Hasil dari proses *GMAW* tidak terdapat terak, sehingga lebih bersih karena dilindungi oleh gas bukan fluks. Proses *GMAW* banyak sekali digunakan dalam pengelasan baja berkualitas tinggi seperti baja tahan karat, baja karbon, baja kuat dan logam-logam bukan baja yang tidak dapat dilas dengan cara lain.

Proses *GMAW* memerlukan beberapa peralatan. Peralatan yang dipakai seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2. Peralatan dalam proses *GMAW*
(Sumber: Sonawan dan Suratman, 2004: 5)

Kajian teori mengenai peralatan dan bahan pada proses *GMAW* akan membantu peneliti dalam menentukan peralatan dan bahan apa saja yang akan digunakan dalam penelitian tentang proses *GMAW*. Penelitian ini diharapkan

dapat terlaksana dengan baik dan lancar karena peralatan dan bahan proses *GMAW* sudah diketahui.

2. Parameter Pengelasan

Menurut Sonawan dan Suratman (2004: 31) dalam pengelasan, untuk mencairkan logam induk dan logam pengisi diperlukan energi yang cukup. Energi yang dihasilkan dalam operasi pengelasan berasal dari bermacam-macam sumber yang tergantung pada proses pengelasannya. Pengelasan busur listrik, sumber panasnya berasal dari listrik yang diubah menjadi energi panas. Energi panas ini sebenarnya hasil kolaborasi dari parameter arus las, tegangan las, dan kecepatan pengelasan. Parameter ketiga yaitu kecepatan pengelasan ikut mempengaruhi energi pengelasan karena proses pemanasannya tidak diam akan tetapi bergerak dengan kecepatan tertentu.

Kualitas hasil pengelasan dipengaruhi oleh energi panas yang berarti dipengaruhi juga oleh arus las, tegangan, dan kecepatan pengelasan. Hubungan antara ketiga parameter itu menghasilkan energi pengelasan yang dikenal dengan *heat input* (masukan panas). Persamaan masukan panas hasil penggabungan ketiga parameter dituliskan sebagai berikut:

$$HI \text{ (Heat Input)} = \frac{\text{Tegangan Las} \times \text{Arus Las}}{\text{Kecepatan Pengelasan}} \dots \dots \dots (2.1)$$

Persamaan di atas dapat dijelaskan sebagai berikut:

- a. Jika menginginkan masukan panas yang tinggi maka parameter yang dapat diatur yaitu arus las diperbesar atau kecepatan pengelasan diperlambat. Besar kecilnya arus las dapat diatur pada mesin las.

- b. Tegangan las umumnya tidak dapat diatur secara langsung pada mesin las, tetapi pengaruhnya terhadap masukan panas tetap ada.

Persamaan 2.1 di atas dikalikan dengan efisiensi proses (η), sehingga persamaan tersebut menjadi:

$$HI \text{ (Heat Input)} = \frac{\eta \times V \times I}{v} \dots \dots \dots (2.2)$$

Di mana: HI = Masukan panas (kJ/m)
 η = Efisiensi proses pengelasan
 V = Tegangan (Volt)
 A = Arus (Ampere)
 v = Kecepatan pengelasan (m/s)

Efisiensi masing-masing proses pengelasan ada pada Tabel 2.1 berikut ini:

Tabel 2.1. Efisiensi Proses Pengelasan

Proses Pengelasan	Efisiensi (%)
<i>SAW (Submerged Arc Welding)</i>	90-99
<i>GMAW (Gas Metal Arc Welding)</i>	65-85
<i>FCAW (Flux Cored Arc Welding)</i>	65-85
<i>SMAW (Shielded Metal Arc Welding)</i>	50-85
<i>GTAW (Gas Tungsten Arc Welding)</i>	20-50

(Sumber: Sonawan dan Suratman, 2004: 32)

Proses *GMAW* digunakan karena mempunyai efisiensi yang cukup besar, yaitu 65-85% seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2.1. Oleh karena itu, masukan panas yang dihasilkan oleh proses tersebut cukup besar untuk pengelasan. Seperti yang sudah dijelaskan di atas bahwa kualitas hasil pengelasan dipengaruhi oleh variabel atau parameter pengelasan. Pengaruh dari masing-masing parameter itu adalah sebagai berikut:

1) Arus Pengelasan

Menurut Sonawan dan Suratman (2004: 32-33), arus pengelasan berpengaruh langsung pada penetrasi logam las, bentuk las, lebar *HAZ* dan dilusi. Arus pengelasan yang digunakan semakin besar, maka dapat

memperdalam penetrasi logam las dan juga memperlebar *HAZ*, memperlebar manik las, dan sebaliknya. Arus las juga mempengaruhi dilusi atau pencampuran. Semakin besar arus pengelasan yang digunakan, maka semakin besar juga dilusi yang artinya makin banyak bagian logam induk yang mencair.

2) Tegangan Pengelasan

Pengelasan busur listrik tentu akan dipengaruhi oleh parameter las berupa tegangan busur las. Sebagai mana yang dijelaskan oleh Wiryosumarto dan Okumura (2000: 224) sebagai berikut.

Tingginya tegangan busur tergantung pada panjang busur yang dikehendaki dan jenis dari elektroda yang digunakan ... Panjang busur yang dianggap baik kira-kira sama dengan garis tengah elektroda. Tegangan yang diperlukan untuk mengelas elektroda bergaris tengah 3 sampai 6 mm, kira-kira antara 20 sampai 30 volt untuk posisi datar. Sementara itu, untuk posisi tegak atau atas kepala biasanya dikurangi lagi dengan 2 sampai 5 volt.

Menurut Sonawan dan Suratman (2004: 34-35), tegangan pengelasan berbanding lurus dengan tinggi busur. Tinggi busur adalah jarak antara ujung elektroda dengan permukaan logam induk yang dilas. Jika saja pada saat pengelasan terjadi kenaikan tinggi busur maka pada saat itu juga tegangan las naik dan arus las turun. Kenaikan tegangan akan terus berlanjut jika tinggi busur makin besar dan pada akhirnya busur listrik tidak lagi ada atau mati.

3) Kecepatan Pengelasan

Selain kuat arus dan tegangan, proses pengelasan dipengaruhi juga oleh kecepatan pengelasan. Seperti yang diuraikan berikut ini.

Kecepatan pengelasan tergantung pada jenis elektroda, diameter inti elektroda, bahan yang dilas, geometri sambungan, ketelitan sambungan dan lain-lainnya ... Kenaikan kecepatan akan memperbesar penembusan. Bila kecepatan pengelasan dinaikkan terus maka masukan panas per satuan panjang juga akan menjadi kecil, sehingga pendinginan akan berjalan terlalu cepat yang mungkin dapat memperkeras daerah *HAZ* (Wiryo Sumarto dan Okumura, 2000: 225-226).

Menurut Sonawan dan Suratman (2004: 35) kecepatan pengelasan yang semakin tinggi biasanya dipengaruhi oleh tingginya arus pengelasan. Proses mencairkan ujung elektroda atau kawat las diperlukan energi panas yang cukup. Energi yang diberikan lebih dari cukup misalnya saja dengan memberikan arus las lebih tinggi, maka proses pencairan ujung elektroda berlangsung lebih cepat. Kecepatan pencairan elektroda yang tidak diimbangi dengan kecepatan pengelasan mungkin saja menyebabkan penumpukan cairan logam las di permukaan logam induk.

Kajian teori tentang parameter pengelasan berguna bagi peneliti untuk menentukan *heat input* atau masukan panas dengan tepat yang meliputi: arus pengelasan, tegangan pengelasan, dan kecepatan pengelasan. Peneliti dapat menggunakan arus yang tinggi maka kecepatannya juga sangat tinggi, sehingga efisiensi proses pengelasannya cukup baik.

3. Jenis Arus Pengelasan

Menurut Widharto (2007: 154), walaupun arus las listrik yang masuk pada *GMAW* adalah arus bolak-balik 230/ 460 VAC 50/60 Hz, namun arus

pengelasannya sendiri adalah arus searah (DC) baik elektroda positif (DCEP) maupun elektroda negatif (DCEN), jadi mesin *GMAW* sebenarnya adalah mesin perata arus (*rectifier*). Penggunaan DCEN biasanya untuk *surfacing* (pembentukan permukaan atau pelapisan) karena penetrasinya dangkal dan laju deposisinya tinggi. DCEP digunakan untuk pengelasan *GMAW* lainnya, karena DCEP menghasilkan busur yang stabil, transfer metal yang lancar dan halus, sedikit menghasilkan percikan, penetrasi dalam, dan bentuk las yang baik, serta dapat digunakan untuk jangkauan arus yang cukup lebar.

Kegunaan teori di atas dalam penelitian ini yaitu untuk menentukan jenis arus pengelasan yang akan digunakan. Penelitian mengenai proses *GMAW* ini akan menggunakan arus searah (DC) elektroda positif atau (DCEP). DCEP dipilih karena banyak kelebihanannya seperti yang dijelaskan di atas, sehingga diharapkan hasil pengelasannya menjadi baik.

4. Kawat Las atau *Filler*

Menurut (Widharto, 2007: 161), kawat las *GMAW* tercakup dalam spesifikasi *American Welding Society (AWS)* misalnya kode spesifikasi AWS A5.XX (daftar spesifikasi AWS kawat las *GMAW* pada Tabel 2.2). Spesifikasi AWS menentukan persyaratan ukuran, toleransi, pengemasan, komposisi kimiawi, dan kekuatan mekanis. Komposisi kimiawi bahan kawat las untuk keperluan penyambungan dibuat sama dengan komposisi bahan benda kerja.

Komposisi tersebut juga dapat diubah sedikit untuk mengimbangi kehilangan metal yang terjadi pada busur las, atau untuk memberi sifat deoksidasi pada kolam las. Kawat las pada kasus-kasus tertentu di mana diperlukan sifat dan

bahan las yang memuaskan, diperlukan komposisi kimiawi kawat las yang sangat berbeda dengan komposisi bahan benda kerja.

Tabel 2.2. Spesifikasi Berbagai Jenis *Filler GMAW*

Bahan Elektroda	Spesifikasi AWS
<i>Carbon Steel</i>	A5.18
Baja Paduan Rendah	A5.28
Paduan Aluminium	A5.10
Paduan Tembaga	A5.7
Magnesium	A5.19
Paduan Nikel	A5.14
<i>Stainless Steel</i> Seri 300	A5.9
<i>Stainless Steel</i> Seri 400	A5.9
Titanium	A5.16

(Sumber: Widharto, 2007: 161)

Kontribusi teori mengenai kawat las atau *filler* yaitu dapat membantu peneliti untuk menentukan spesifikasi kawat las atau *filler* yang akan digunakan. Bahan yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan baja karbon, maka kawat lasnya adalah AWS A5.18 seperti yang dituliskan pada Tabel 2.2.

5. Gas Lindung

Menurut Widharto (2007: 162), fungsi utama gas lindung adalah mengusir udara di lingkungan busur dan kolam las agar tidak bersinggungan dengan cairan metal untuk mencegah terjadinya proses oksidasi metal tersebut oleh oksigen dalam udara. Temperatur yang tinggi oksigen akan bereaksi dengan bahan metal menjadi oksida metal. Oksigen juga bereaksi dengan karbon di dalam menjadi CO (karbon monoksida) dan CO₂ (karbon dioksida). Berikut ini adalah macam-macam gas lindung yang dapat digunakan dalam proses *GMAW*.

a. Argon (Ar)

Argon (Ar) adalah gas *inert* yang monoatomik dengan berat molekul 40 yang didapatkan dengan mencairkan udara. Argon yang digunakan untuk

pengelasan merupakan gas argon murni (minimum 99,95%) untuk metal yang tidak reaktif, namun untuk metal reaktif dan metal tahan panas (*refractory*), argon yang digunakan tingkat kemurniannya harus lebih tinggi (99,997%) atau Argon *Ultra High Purity (UPH)* (Widharto, 2007: 134).

b. Helium (He)

Helium adalah gas *inert* yang monoatomik dan sangat ringan, memiliki berat atom 4, didapat dari separasi gas alam. Jika digunakan untuk pengelasan harus dimurnikan menjadi 99,99%. Helium lebih banyak menghantarkan panas daripada argon. Tenaga pemanas yang tinggi tersebut, helium banyak digunakan untuk pengelasan menggunakan tenaga mekanis. Gas helium jika digunakan sendiri tanpa dicampur dengan argon akan menghasilkan tegangan busur yang lebih tinggi jika variabel lainnya dipertahankan tetap, hal ini disebabkan oleh potensi ionisasi yang lebih tinggi pula (Widharto, 2007: 135).

c. Campuran Argon (Ar) dan Helium (He)

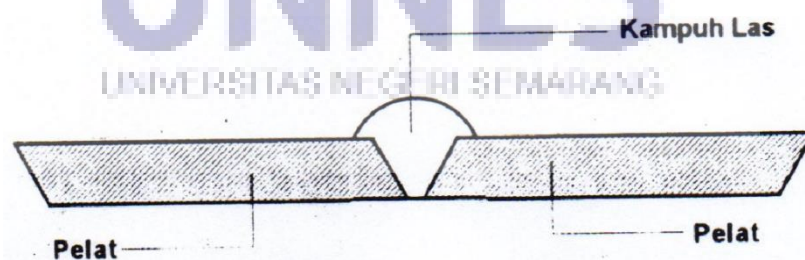
Campuran gas argon dan helium (80% argon, 20% helium) akan menghasilkan transfer semprot aksial (*axial spray transfer*) apabila arus mencapai di atas nilai transisi dan penetrasi yang dalam serta jalus las yang lebar dan parabol. Argon asli digunakan sebagai gas lindung untuk pengelasan bahan *non ferrous* (bukan besi atau baja). Pengelasan yang menggunakan teknik transfer arus pendek di mana diperlukan masukan panas (*heat input*) yang besar agar terjadi fusi yang baik, disarankan agar digunakan gas lindung campuran antara argon dan helium (60 hingga 90% helium). Campuran argon dengan sedikit helium diperlukan untuk gas

lindung pengelasan *stainless steel* dan baja paduan rendah. Campuran argon dan helium yang mengandung helium antara 50 hingga 75% dapat meningkatkan tegangan (Widharto, 2007: 164).

Teori mengenai gas lindung yang digunakan pada proses *GMAW* akan membantu peneliti untuk menentukan jenis gas lindung yang akan digunakan. Gas lindung yang akan digunakan harus sesuai dengan jenis dari proses *GMAW* apakah *MIG* atau *MAG*. Bahan yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah baja karbon sedang maka gas lindung yang dapat digunakan yaitu argon (Ar) yang tingkat kemurniannya lebih tinggi (99,997%).

6. Kampuh V Terbuka

Penggunaan sambungan kampuh V terbuka dikarenakan sambungan tersebut digunakan untuk menyambung logam atau pelat dengan rentang ketebalan 6 mm-15 mm. Menurut Soetardjo (1997: 57), sambungan kampuh V terbuka dipergunakan untuk menyambungkan logam atau pelat dengan ketebalan 6 mm-15 mm, jarak antara pelat yang satu dengan yang lain 1 mm-2 mm dan tingginya antara 1 mm-2 mm dengan sudut kampuh antara 60° - 80° .



Gambar 2.3. Kampuh V terbuka
(Sumber: Soetardjo, 1997: 57)

Teori di atas membantu peneliti untuk menentukan kampuh yang digunakan dan besar sudutnya. Penelitian ini akan menggunakan pelat baja dengan tebal 10 mm, sehingga penyambungannya perlu kampuh V terbuka.

7. Baja Karbon

Menurut Wiryosumarto dan Okumura (2000: 89-90), baja karbon adalah paduan antara besi dan karbon dengan sedikit Si, Mn, P, S, dan Cu. Sifat baja karbon sangat tergantung pada kadar karbon, karena itu baja ini dikelompokkan berdasarkan kadar karbonnya. Baja karbon rendah adalah baja dengan kadar karbon kurang dari 0,30%, baja karbon sedang mengandung 0,30 sampai 0,45% karbon dan baja karbon tinggi berisi karbon antara 0,45% sampai 1,70%. Klasifikasi dari baja karbon dapat dilihat dalam Tabel 2.3.

Tabel 2.3. Klasifikasi Baja Karbon

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

(Sumber: Wiryosumarto dan Okumura, 2000: 90)

Baja karbon merupakan bahan yang akan digunakan dalam penelitian ini. Jenis yang digunakan adalah baja karbon sedang yang mengandung karbon sekitar 0,50%. Baja karbon sedang mempunyai kekuatan luluh, kekuatan tarik, dan kekerasan brinell yang cukup tinggi, tetapi mempunyai perpanjangan yang

rendah. Aplikasi bahan baja karbon sedang dapat digunakan sebagai alat-alat mesin, komponen perkakas, rel, pegas dan sebagainya.

8. Pengelasan Baja Karbon Sedang

Baja karbon sedang mengandung banyak karbon dan unsur lain yang dapat memperkeras baja. Oleh karena itu, daerah pengaruh panas atau *HAZ* pada baja ini mudah menjadi keras apabila dibandingkan dengan baja karbon rendah. Sifat baja karbon sedang yang mudah menjadi keras ditambah dengan adanya hidrogen difusi menyebabkan baja ini sangat peka terhadap retak las. Di samping itu, pengelasan dengan menggunakan elektroda yang sama kuat dengan logam lasnya mempunyai perpanjangan yang rendah (Wiryosumarto dan Okumura, 2000: 92).

Retak yang terjadi dapat dihindari dengan pemanasan mula atau *Pre Heating* dengan suhu yang sangat tergantung pada kadar karbon atau harga ekuivalen karbon. Tabel 2.4. menunjukkan suhu pemanasan mula yang dianjurkan.

Tabel 2.4. Suhu Pemanasan Mula pada Pengelasan Baja Karbon Sedang-Tinggi

Kadar karbon (%)	Suhu Pemanasan Mula (°C)
0,20 (Maksimal)	90 (Maksimal)
0,20-0,30	90-150
0,30-0,45	150-260
0,45-0,80	260-420

(Sumber: Wiryosumarto dan Okumura, 2000: 92)

Perlakuan untuk mengurangi hidrogen difusi yang juga menyebabkan terjadinya retak las, harus digunakan elektroda hidrogen rendah. Pengerasan dari daerah pengaruh panas dapat dikurangi dengan pendinginan lambat atau dengan pemanasan kemudian atau *Post Heating* pada temperatur antara 600 sampai 650°C untuk beberapa waktu (Wiryosumarto dan Okumura, 2000: 93).

Kajian teori di atas dapat memberikan informasi kepada peneliti mengenai masalah-masalah baja karbon sedang ketika dilas dan memberikan solusi untuk mengatasi permasalahan pengelasan baja karbon sedang dengan kadar karbon sekitar 0,5%, yaitu *Pre Heating* sampai temperatur antara 150°C sampai 420°C dan setelah pengelasan diberi *Post Heating* antara 600°C sampai 650°C.

9. Baja AISI 1045

Kajian teori tentang baja AISI 1045 memberikan informasi kandungan kimiawi dan aplikasinya. Baja AISI 1045 atau *Bohler Grade K945 EMS 45* termasuk kelompok baja karbon sedang yang diproduksi dengan *Black Hot Rolled* atau *Normalized Condition* (Azom, 2012). Baja ini mempunyai kekuatan tarik 570-700 MPa, regangan saat patah (50 mm) sebesar 16% dan kekerasan *Brinell* antara 170 dan 210. Aplikasi bahan baja karbon sedang (AISI 1045) ini dapat digunakan sebagai alat-alat mesin, *cold work steel*, roda gigi, poros, *crankshafts*, *hydraulic clam*, soket, spindel, komponen perkakas, rel, pegas dan sebagainya (Azom, 2012). Berikut ini komposisi kimiawi baja AISI 1045.

Tabel 2.5. Komposisi Kimia Baja AISI 1045

Unsur	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	V	Al	Cu
Berat (%)	0,520	0,310	0,650	0,19	0,02	-	-	-	-	-	0,010

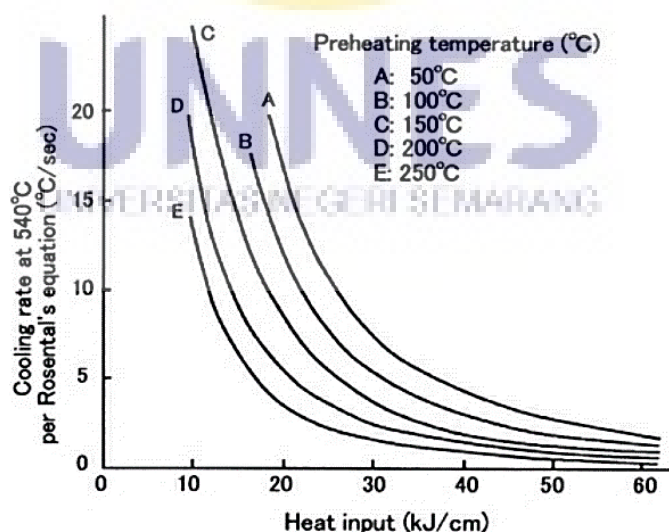
(Sumber: Sertifikat Baja *Bohler Grade* PT. Bhinneka Bajanas)

10. *Pre Heating*

Pemanasan awal (*Pre Heating*) adalah memanaskan seluruh atau sebagian benda sebelum pengelasan untuk mengurangi perbedaan panas yang terjadi antara daerah lasan dengan daerah sekitarnya. Pemanasan awal dapat dilakukan dengan

api *oxy-gas* atau dengan dapur tempa atau oven (Alip, 1989: 232). Pemberian pemanasan mula atau *Pre Heating* “dengan suhu yang sangat tergantung daripada kadar karbon atau harga ekivalen karbon” (Wirjosumarto dan Okumura, 2000: 92). “Temperatur *Pre Heating* yang lebih tinggi akan menghasilkan gradien temperatur yang lebih datar dan menghasilkan pertumbuhan butir pada *HAZ* yang dapat menyebabkan penurunan ketangguhan baja” (Chandra, 2011: 9).

Laju pendinginan yang tinggi selama pengelasan menjadi penyebab timbulnya martensit. Pengelasan baja dengan karbon $> 0,2\%$ laju pendinginan diusahakan selambat mungkin. *Pre Heating* dapat mengurangi laju pendinginan daerah logam las dan *HAZ*. *Pre Heating* juga dapat didefinisikan sebagai penerapan atau pemberian panas ke logam dasar atau *substrate* sebelum proses pengelasan. Obor gas, pemanas listrik, atau pemanas radiasi inframerah dapat digunakan untuk menerapkan *Pre Heating* yang dapat menurunkan kecepatan pendinginan las dan dengan demikian dapat mencegah retak dingin di las (Kobelco-Kobe Steel, Ltd).



Gambar 2.4. Pengaruh *Pre Heating* terhadap kecepatan pendinginan pengelasan sebagai fungsi dari *heat input* (tebal pelat: 19 mm)
(Sumber: Kobelco-Kobe Steel, Ltd)

Gambar 2.4. di atas menunjukkan sebuah peningkatan dari temperatur *Pre Heating* mempengaruhi laju pendinginan pengelasan. Sebagai contoh, di mana masukan panas konstan (misalnya: 20 kJ/cm) temperatur *Preheat* 50°C hasil laju pendinginannya sekitar 17°C/detik. *Preheat* 250°C mengurangi laju pendinginan sekitar 3°C/detik. Penurunan laju pendinginan mencegah pembentukan struktur las yang rapuh, dan menghilangkan *diffusible hydrogen* yang akhirnya mencegah terjadinya retak dingin (Kobelco-Kobe Steel, Ltd).

Pemberian *Pre Heating* juga dapat meminimalkan risiko seperti, tingginya kekerasan yang terjadi *HAZ* yang membuat logam baja karbon sedang dan tinggi sangat rentan terhadap pembentukan retak dingin atau hidrogen. Risiko timbulnya retak umumnya sebanding dengan meningkatnya karbon. Pemberian pemanasan mula atau *Pre Heating* pada baja karbon sedang dapat dilihat pada Tabel 2.4.

Kajian teori di atas berguna bagi peneliti untuk mengetahui fungsi dan tujuan dari *Pre Heating* atau pemanasan mula sebelum pengelasan. Penelitian proses *GMAW* pada baja karbon sedang ini akan diberi perlakuan *Pre Heating*. Selain itu, teori mengenai *Pre Heating* dapat membantu peneliti untuk menentukan variasi temperatur *Pre Heating* yang akan diberikan sebelum pengelasan dilakukan. Kajian teori tersebut juga akan dikaitkan dan dibuktikan kebenarannya dengan hasil penelitian yang akan dilakukan.

11. *Post Heating*

Post Heating adalah aplikasi panas pada saat setelah proses pengelasan dilaksanakan. *Post Heating* atau pemanasan kemudian pada pengelasan baja karbon sedang dan tinggi diberikan “pada suhu antara 600 sampai 650°C”

(Wiryosumarto dan Okumura, 2000: 93). Pemberian *Post Heating* pada proses pengelasan adalah untuk mencegah penurunan sifat mekanis dari *overheating*, mengurangi ukuran dari daerah lunak pada *HAZ*, dan mengurangi efek dari pendinginan setelah pengelasan (Darsin, 2010: 68). Perlakuan "*postheating* yaitu proses pemanasan kembali benda kerja yang dilas, untuk mendapatkan hasil lasan yang ulet (*ductile*)" (Sukaini, 2016).

Kobelco-Kobe Steel, Ltd. mendefinisikan *Post Heating* sebagai aplikasi pemanasan untuk konstruksi setelah pengelasan. Pemberian *Post Heating* meliputi *Postweld Heat Treatment (PWHT)*, *Immediate Postweld Heating (IPWH)*, *normalizing* (normalising), *quenching*, dan *tempering (aging)*. Pemanasan atau *heat treatments* di antaranya, *PWHT* dan *IPWH* merupakan prosedur yang paling umum digunakan dalam pengelasan. Pemanasan lainnya digunakan untuk aplikasi terbatas di beberapa bidang pengelasan fabrikasi. *IPWH* biasanya dilakukan dengan obor gas, pada lasan tepat setelah pengelasan selesai, sementara lasan masih mempertahankan temperatur pemanasan awal dengan menggunakan temperatur yang relatif rendah dan waktu pemanasan yang lebih pendek (250-350°C x 0,5-1h) sebelum *PWHT*. *IPWH* menurunkan *diffusible hydrogen* untuk tingkat yang memadai untuk mencegah retak dingin.

Tujuan dari pemanasan setelah pengelasan atau *Post Heating* yaitu untuk menurunkan kekerasan dan meningkatkan ketangguhan dan dapat memberikan waktu kepada gas hidrogen untuk keluar dari logam las dan *HAZ* (Sonawan dan Suratman, 2004: 85). Selain itu, *Post Heating* dapat dapat menurunkan tingkat tegangan sisa serta meningkatkan keuletan di *HAZ* dan memperbaiki sifat mampu las daerah logam las dan *HAZ* (Sonawan dan Suratman, 2004: 47). Baja karbon

sedang dapat diberikan pemanasan kemudian atau *Post Heating* pada temperatur antara 600 sampai 650°C untuk beberapa waktu.

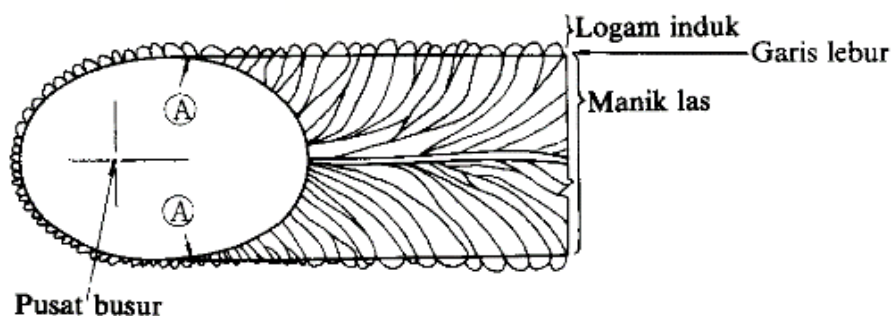
Kajian teori di atas berguna bagi peneliti untuk mengetahui fungsi dan tujuan dari *Post Heating* atau pemanasan setelah pengelasan. Penelitian proses *GMAW* pada baja karbon sedang ini akan diberi perlakuan *Post Heating*. Selain itu, teori mengenai *Post Heating* dapat membantu peneliti untuk menentukan variasi temperatur *Post Heating* yang akan diberikan setelah pengelasan dilakukan. Kajian teori tersebut juga akan dikaitkan dan dibuktikan kebenarannya dengan hasil penelitian yang akan dilakukan.

12. Siklus Termal Daerah Lasan

Menurut Wiryosumarto dan Okumura (2000: 56), daerah lasan terdiri dari 3 bagian yaitu logam lasan, daerah pengaruh panas yang dalam bahasa Inggrisnya adalah *Heat Affected Zone (HAZ)* dan logam induk.

a. Logam Las

Menurut Widharto (2013: 455), logam las adalah perpaduan antara bahan pengisi (*filler metal*) dengan logam induk yang kemudian setelah membeku membentuk jalur las. Logam di daerah pengelasan mengalami siklus termal yang menyebabkan perubahan struktur mikro dari logam las.

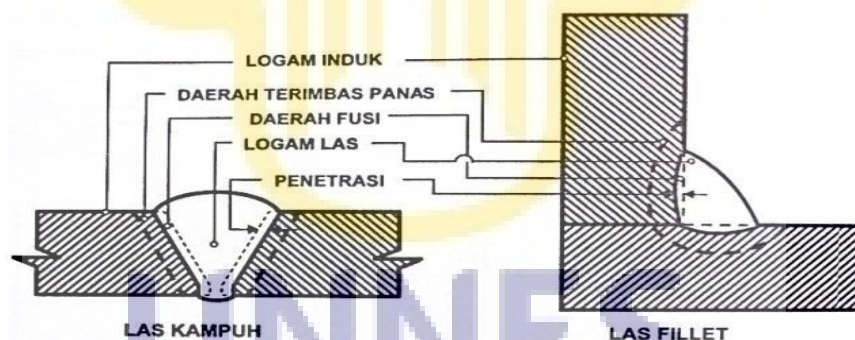


Gambar 2.5. Arah Pembekuan dari Logam Las
(Sumber: Wiryosumarto dan Okumura, 2000: 57)

Gambar 2.5. menunjukkan secara skematik proses pertumbuhan dari kristal-kristal logam las yang berbentuk pilar. Titik A dari Gambar 2.5 tersebut adalah titik mula dari struktur pilar yang selalu terletak dalam logam induk. Titik ini tumbuh menjadi garis lebur dengan arah yang sama dengan gerakan sumber panas. Garis lebur sebagian logam dasar turut mencair dan selama proses pembekuan logam las tumbuh pada butir-butir logam induk dengan sumbu kristal yang sama (Wiryosumarto dan Okumura, 2000: 57).

b. Logam Induk

Menurut Widharto (2013: 456), logam induk adalah bagian logam yang jauh dari bagian las, sehingga tidak terpengaruh oleh temperatur panas las dan tetap dalam struktur mikro dan sifat semula.

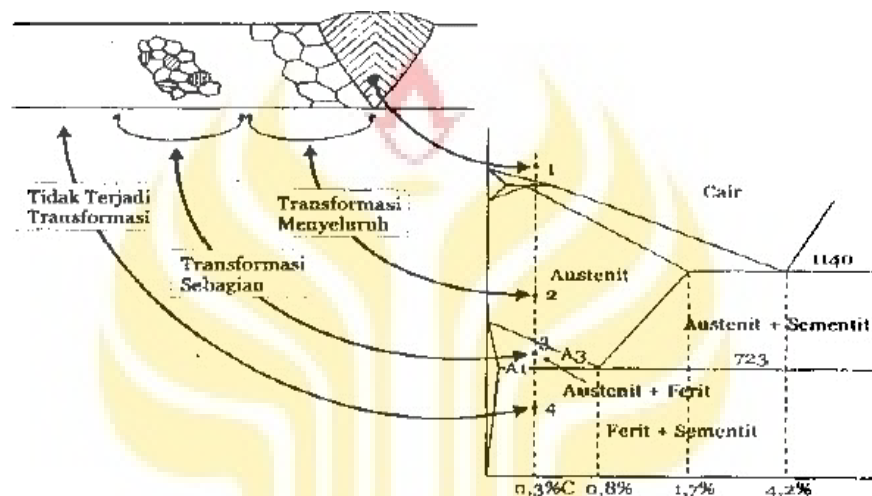


Gambar 2.6. Bagian Las
(Sumber: Widharto, 2013: 456)

c. Heat Affected Zone (HAZ)

Menurut Wiryosumarto dan Okumura (2000: 56), daerah terimbas panas atau *HAZ* adalah logam dasar yang bersebelahan dengan logam las yang selama proses pengelasan mengalami siklus termal pemanasan dan pendinginan cepat. Ada tiga titik berbeda yang terdapat di daerah *HAZ*. Titik satu dan dua menunjukkan temperatur pemanasan mencapai daerah berfasa

austenit, daerah ini disebut dengan daerah transformasi menyeluruh yang artinya struktur mikro baja mula-mula ferit+perlit kemudian bertransformasi menjadi austenit 100%. Titik tiga menunjukkan temperatur pemanasan mencapai daerah berfasa ferit dan austenit, daerah ini disebut dengan daerah transformasi sebagian yang artinya struktur mikro baja mula-mula ferit+perlit berubah menjadi ferit+austenit (Sonawan dan Suratman, 2004: 71).



Gambar 2.7 Transformasi fasa pada logam hasil pengelasan
(Sumber: Sonawan dan Suratman, 2004: 72)

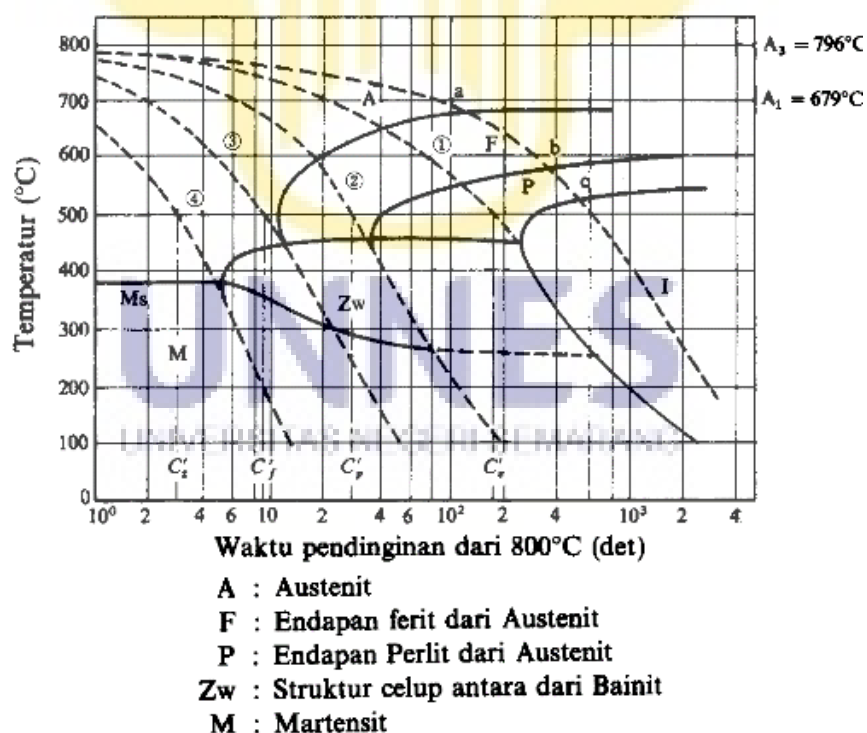
Teori siklus termal daerah lasan dapat membantu peneliti dalam menentukan posisi atau letak daerah lasan yang terdiri dari logam induk, HAZ, dan logam las. Perubahan metalurgi yang paling penting dalam pengelasan adalah perubahan struktur mikro pada HAZ maupun daerah las lainnya. Perubahan struktur mikro yang terjadi akan menentukan sifat mekanik pada sambungan las, seperti kekuatan tarik. (Aisyah, 2011: 161).

13. Diagram *Continuous Cooling Transformation (CCT)*

Struktur mikro dari baja tergantung dari kecepatan pendinginannya dari temperatur daerah austenit sampai ke temperatur kamar. Perubahan struktur ini

maka dengan sendirinya sifat-sifat mekanik yang dimiliki juga berubah. Hubungan antara kecepatan pendinginan dan struktur mikro yang terbentuk biasanya digambarkan dalam diagram yang menghubungkan waktu, temperatur dan transformasi atau *Continuous Cooling Transformation* (diagram *CCT*) (Wiryosumarto dan Okumura, 2000: 43).

Diagram *CCT* selain memperlihatkan hubungan temperatur dan waktu juga terdapat fasa-fasa yang mungkin terjadi pada kasus pendinginan tertentu. Huruf A dalam diagram menyatakan fasa austenit, huruf F= Ferit, P= Perlit, B= Bainit, M= Martensit dan M_s atau martensit *start*= garis transformasi mulai terbentuknya fasa martensit, serta angka-angka di setiap garis pendinginan menyatakan angka kekerasan. Garis-garis yang ada pada diagram *CCT* merupakan batas antara satu fasa dengan fasa lain.



Gambar 2.8. Diagram *Continuous Cooling Transformation* (*CCT*)
 (Sumber: Wiryosumarto dan Okumura, 2000: 60)

Gambar 2.8. dapat membantu peneliti memprediksi struktur mikro logam hasil pengelasan. Struktur mikro tersebut terdiri dari satu atau lebih fasa austenit, ferit, perlit, bainit, martensit dan martensit *start* atau gabungan dari beberapa fasa. Selain itu, diagram *CCT* juga dapat memperlihatkan hubungan antara temperatur, waktu pendinginan, dan transformasi setelah proses pengelasan. Sebagai contoh pada Gambar 2.8. pada proses pendinginan dari temperatur 800°C (fasa austenit) ke temperatur 200°C dengan waktu pendinginan yang sangat cepat, maka akan terbentuk fasa martensit.

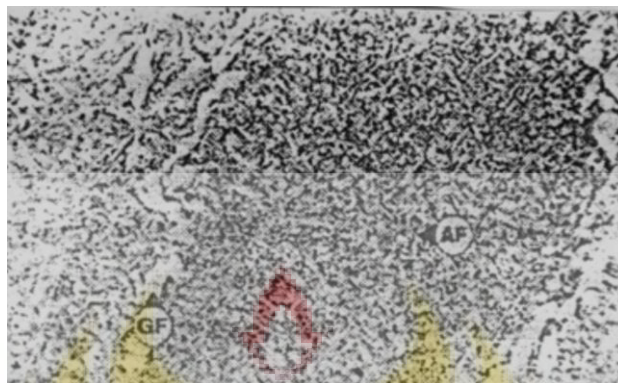
14. Struktur Mikro Logam Hasil Pengelasan

Struktur mikro merupakan butiran-butiran suatu benda logam yang sangat kecil dan tidak dapat dilihat dengan mata telanjang, sehingga perlu menggunakan mikroskop optik atau elektron untuk pemeriksaan butiran-butiran logam tersebut. Uji struktur mikro bertujuan untuk mengetahui dan membedakan struktur mikro antara logam induk, logam las, dan *Heat Affected Zone* yang diberikan pada saat dan setelah proses perlakuan panas (Suparjo dan Purnomo, 2012: 171).

Menurut Arifin *et al.* (2012), bahwa pada proses pengelasan, transformasi γ (austenit) menjadi α (ferit) merupakan tahap yang paling krusial karena struktur mikro logam las yang berarti juga sifat-sifat mekaniknya sangat ditentukan pada tahap ini. Faktor-faktor yang mempengaruhi transformasi γ (austenit) menjadi α (ferit) adalah masukan panas (*heat input*), komposisi kimia logam las, kecepatan pendinginan dari temperatur 800°C sampai 500°C.

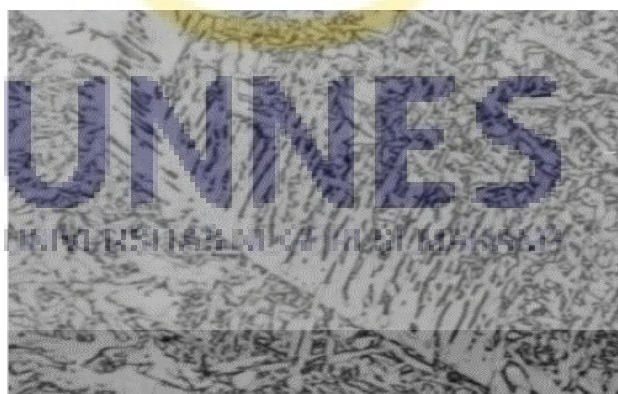
Menurut Abson dan Pargeter dalam Arifin *et al.* (2012) struktur mikro logam hasil pengelasan mempunyai karakteristik sebagai berikut:

- a. Ferit Batas Butir (*Grain Boundary Ferrite*), terbentuk pertama kali transformasi γ (austenit) menjadi α (ferit), biasanya terbentuk sepanjang batas austenit pada temperatur 1000°C-650°C.



Gambar 2.9. Struktur Ferit Batas Butir atau *Grain Boundary Ferrite* (GF)
(Sumber: Sonawan dan Suratman, 2004: 70)

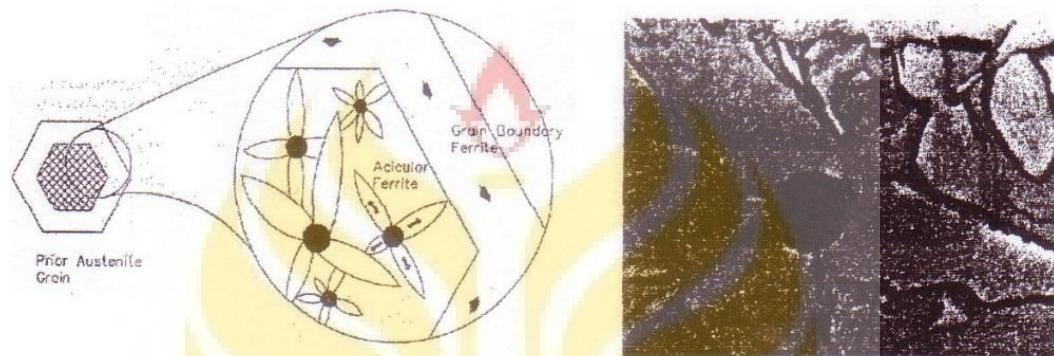
- b. Ferit *Widmanstatten*, jika temperaturnya lebih rendah maka akan terbentuk ferit *widmanstatten*. Ukurannya besar dan pertumbuhannya cepat. Struktur mikro ini terbentuk pada temperatur 750°C-650°C di sepanjang batas butir austenit. Fasa ini mempunyai ukuran besar dengan orientasi arah yang sama, sehingga memudahkan terjadinya rambat retak.



Gambar 2.10. Struktur Ferit *Widmanstatten*
(Sumber: *ASM Handbook Volume 9-Metallography And Microstructures*, 2004)

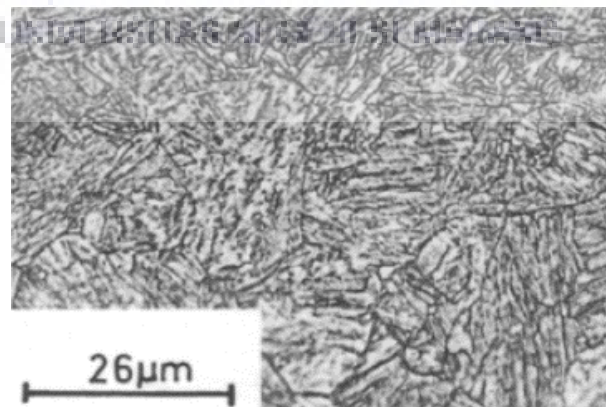
- c. Ferit *Acicular*, berbentuk intragranular dengan ukuran kecil dan mempunyai orientasi ke arah yang acak. Jika terjadi retak las dengan struktur mikro ferit *acicular*, maka retak tersebut tidak akan cepat

merambat karena orientasi arahnya acak. Ferit *acicular* terbentuk sekitar temperatur 650°C dan mempunyai ketangguhan paling tinggi. Menurut Chandra (2011: 19), unsur Mo dan Cr merupakan pembentuk karbida yang kuat dan dapat menahan pembentukan *proeutectic ferrite* serta meningkatkan pembentukan ferit *acicular*. Hasil pengelasan akan mempunyai sifat-sifat yang baik jika jumlah ferit *acicular* lebih dominan.



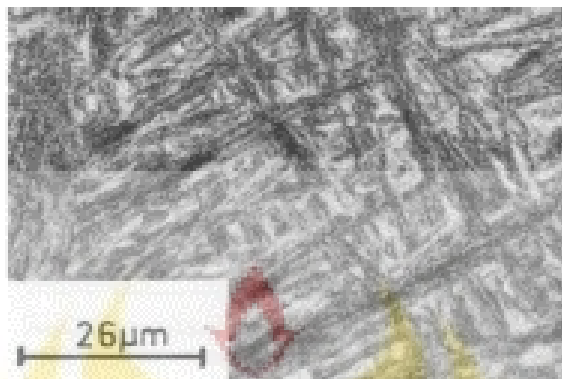
Gambar 2.11. Struktur Ferit Acicular
(Sumber: Chandra, 2011: 19)

- d. Bainit, merupakan ferit yang tumbuh dari batas butir austenit dan terbentuk pada temperatur 500°C. Struktur bainit berupa pelat-pelat sejajar dengan Fe_3C di antara pelat-pelat tersebut atau di dalamnya. Bainit mempunyai kekerasan yang lebih tinggi dibanding ferit, tetapi lebih rendah daripada martensit.



Gambar 2.12. Struktur Bainit
(Sumber: ASM Handbook Volume 9-Metallography And Microstructures, 2004)

- e. Martensit, terbentuk bila proses pengelasan dengan pendinginan yang sangat cepat. Struktur ini mempunyai sifat sangat keras dan getas, sehingga ketangguhannya rendah.



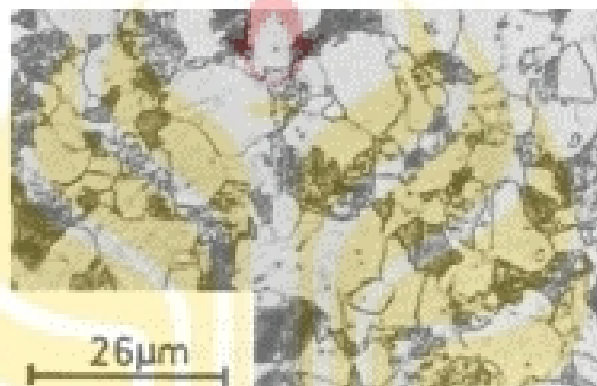
Gambar 2.13. Struktur Martensit

(Sumber: *ASM Handbook Volume 9-Metallography And Microstructures*, 2004)

Penambahan unsur paduan pada logam las menyebabkan struktur mikro cenderung berbentuk bainit dengan sedikit ferit batas butir. Kedua macam struktur mikro tersebut juga dapat terbentuk jika ukuran butir austenitnya besar. Waktu pendinginan yang semakin lama akan meningkatkan ukuran ferit batas butir (*grain boundary ferrite*), selain itu waktu pendinginan yang lama akan menyebabkan struktur mikro yang paling banyak terbentuk adalah ferit *widmanstatten*. Kandungan oksigen yang besar juga akan menyebabkan terbentuknya ferit *widmanstatten* dan ferit batas butir dengan ukuran yang besar.

Menurut Sonawan dan Suratman (2004: 54-57), karakteristik struktur mikro logam hasil pengelasan terdapat beberapa fasa. Fasa austenit hanya terdapat pada temperatur tinggi. Austenit memiliki sel satuan FCC yang mengandung unsur karbon maksimal mencapai 1,7 %. Fasa ferit memiliki bentuk sel satuan BCC yang hanya dapat menampung unsur karbon maksimal 0,025% pada temperatur 723°C. Fasa sementit (Fe_3C) karakteristiknya tidak seperti ferit dan austenit. Sementit merupakan senyawa bersifat sangat keras yang mengandung

6,67% C. Sementit apabila bercampur dengan ferit yang lunak maka kekerasan keduanya menurun. Campuran ferit dan sementit disebut perlit. Laju pendinginan lambat menghasilkan perlit kasar, sehingga memiliki ketangguhan yang rendah. Laju pendinginan cepat menghasilkan perlit halus, sehingga bersifat keras dan lebih tangguh. Fasa martensit terbentuk karena pendinginan yang sangat cepat dari fasa austenit, sehingga menyebabkan distorsi sel satuan di mana BCC berubah menjadi BCT.



Gambar 2.14. Struktur Ferit dan Perlit

(Sumber: *ASM Handbook Volume 9-Metallography And Microstructures*, 2004)

Kajian teori mengenai struktur mikro di atas sangat membantu peneliti dalam menentukan struktur mikro pada logam hasil pengelasan yang biasanya terdiri dari dua atau lebih fasa. Struktur mikro logam hasil pengelasan dapat diketahui setelah dilihat dengan mikroskop optik atau elektron. Jika struktur mikro sudah diketahui, maka sifat mekanik (kekuatan tarik) dapat diprediksi.

15. Kekuatan Tarik

Konsep pada tegangan-regangan (kekuatan tarik) yaitu jika beban statis atau perubahan secara relatif dengan waktu yang sangat lambat dan diterapkan seragam pada sebuah penampang atau spesimen, maka sifat mekanik dapat ditentukan melalui sebuah uji tegangan-regangan yang umumnya dilakukan untuk

logam pada temperatur ruangan (Callister, 2007: 133). Uji tegangan (kekuatan tarik) dilakukan untuk beberapa alasan. Hasil dari pengujian kekuatan tarik digunakan untuk memilih material untuk aplikasi teknik. Nilai tegangan seringkali dimasukkan pada spesifikasi material untuk memastikan kualitas. Nilai tegangan biasanya diukur selama proses pengembangan material baru, sehingga material-material yang berbeda dapat dibandingkan. Nilai tegangan seringkali digunakan untuk memprediksi karakteristik dari sebuah material yang dibentuk pada pembebanan tegangan uniaksial (ASM International, 2004: 1).

Hubungan tegangan-regangan dapat diketahui melalui besarnya perubahan struktur atau regangan yang tergantung pada pemberian tegangan. Logam yang diberi beban atau gaya yang relatif rendah, maka tegangan dan regangan akan sebanding atau proporsional satu sama lain. Hal ini dikenal dengan hukum Hooke dan modulus elastisitas atau modulus *young*. Hukum Hooke merupakan hubungan antara tegangan teknik dan regangan teknik pada daerah perubahan elastis (Callister, 2007: 137). Hubungan tersebut seperti rumus di bawah ini.

$$\sigma = \frac{P}{A} \dots \dots \dots (2.3)$$

Di mana: σ = *Stress* atau tegangan (MPa atau N/mm²)

P = Beban (N)

A = Luas penampang (mm²)

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} \times 100\% \dots \dots \dots (2.4)$$

$$\varepsilon = \frac{L_f - L_0}{L_0} \times 100\% \dots \dots \dots (2.5)$$

Di mana: ε = *Strain* atau regangan (%)

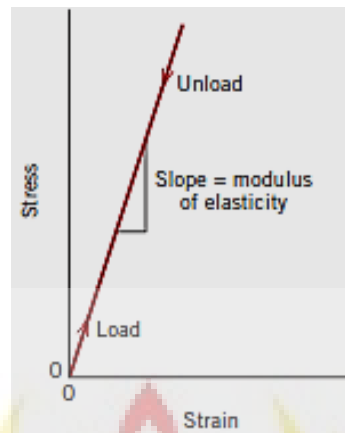
L_f = Panjang spesimen setelah diuji kekuatan tarik (mm)

L_0 = Panjang spesimen sebelum diuji kekuatan tarik (mm)

$$\sigma = E \times \varepsilon \dots \dots \dots (2.6)$$

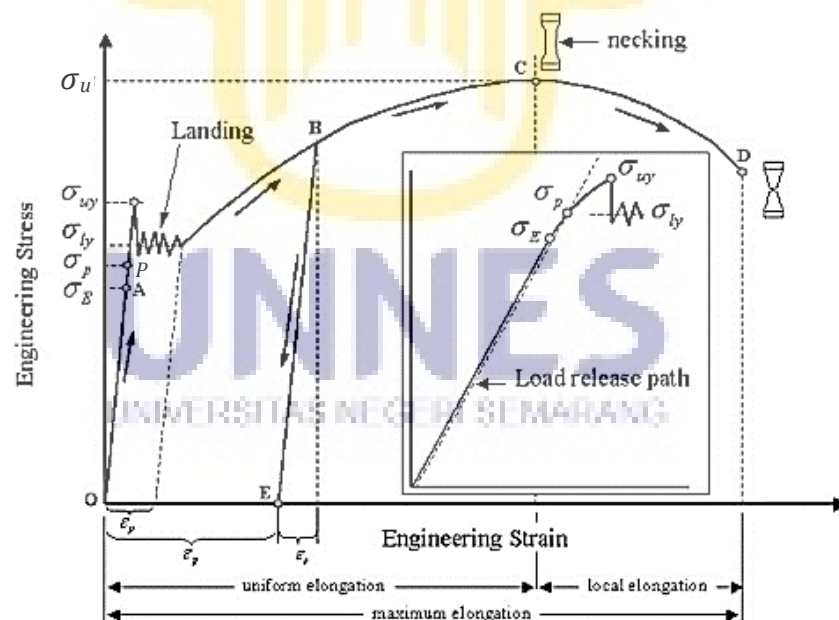
Di mana: σ = *Stress* atau tegangan (MPa atau N/mm²)

$\varepsilon = \text{Strain}$ atau regangan (%)
 $E = \text{Modulus elastisitas}$ (GPa atau Psi)



Gambar 2.15. Skema Tegangan-Regangan pada Modulus Elastisitas
 (Sumber: Callister, 2007: 138)

Berikut ini penjelasan lebih lanjut mengenai profil data hasil uji kekuatan tarik untuk keperluan analisis teknik. Data yang didapat dari hasil uji kekuatan tarik dapat digeneralisasi seperti pada Gambar 2.16.



Gambar 2.16. Profil Data Hasil Uji Kekuatan Tarik
 (Sumber: Sastranegara, 2009)

Berdasarkan Gambar 2.16. dapat dijadikan pedoman dalam melakukan uji kekuatan tarik suatu bahan. Uji tersebut diasumsikan bahwa pengujian dimulai

dari titik O sampai dengan titik D sesuai arah anak panah dengan penjelasan sebagai berikut.

a. Daerah Elastis (*Elastic Region*)

Garis lurus pada kurva tegangan-regangan ditandai oleh garis OA merupakan daerah elastis yang di dalamnya masih berlaku hukum Hooke (Dieter, 1988: 8).

b. Batas Elastis σ_E (*Elastic Limit*)

Berdasarkan Gambar 2.16, ditandai pada titik A yang merupakan tegangan terbesar suatu logam dalam mempertahankan beban yang diterima tanpa mengalami regangan permanen ketika beban dihilangkan, artinya logam tersebut akan kembali ke kondisi semula (Dieter, 1988: 8).

c. Batas Proporsional σ_P (*Proportional Limit*)

Logam yang mengalami perubahan elastis menuju plastis secara sedikit demi sedikit, titik luluh (*yielding*) dapat ditentukan melalui garis lurus pada kurva tegangan-regangan (Callister, 2007: 144). Hal tersebut biasanya dikenal sebagai batas proporsional, yang ditandai dengan titik P pada Gambar 2.16. Batas proporsional juga dikenal sebagai titik di mana penerapan hukum Hooke masih bisa ditoleransi. Pada beberapa kasus posisi batas proporsional tidak dapat ditentukan secara pasti.

d. Deformasi Plastis (*Plastic Deformation*)

Deformasi plastis merupakan perubahan bentuk pada logam yang tidak dapat kembali ke bentuk semula (Sastranegara, 2009). Deformasi plastis terjadi apabila logam ditarik sampai melewati batas proporsional dan mencapai daerah *landing*.

e. Tegangan Luluh Atas σ_{uy} (*Upper Yield Stress*)

Tegangan pada bahan sebelum memasuki fase daerah *landing* atau fase peralihan deformasi elastis ke plastis (Sastranegara, 2009).

f. Tegangan Luluh Bawah σ_{ly} (*Lower Yield Stress*)

Tegangan rata-rata daerah *landing* sebelum benar-benar memasuki fase deformasi plastis. Tegangan ini juga biasa disebut dengan tegangan luluh (*yield stress*) (Sastranegara, 2009).

g. Regangan Elastis ϵ_e (*Elastic Strain*)

Regangan yang diakibatkan oleh perubahan elastis bahan. Pada saat beban dilepaskan, regangan ini akan kembali ke bentuk semula (Sastranegara, 2009).

h. Regangan Luluh ϵ_y (*Yield Strain*)

Regangan permanen saat bahan akan memasuki fase deformasi plastis (Sastranegara, 2009).

i. Regangan Plastis ϵ_p (*Plastic Strain*)

Regangan yang diakibatkan oleh perubahan plastis. Pada saat beban dilepaskan, regangan ini tidak dapat kembali ke bentuk semula (perubahan permanen) (Sastranegara, 2009).

j. Regangan Total ϵ_T (*Total Strain*)

Regangan gabungan antara regangan elastis dan plastis. Pada titik B regangan yang terjadi adalah regangan total. Ketika beban dilepaskan, posisi regangan ada pada titik E dan regangan pada garis OE adalah regangan plastis (Sastranegara, 2009).

k. Tegangan Tarik Maksimum σ_u (*Ultimate Tensile Strength*)

Berdasarkan Gambar 2.16. pada titik C (σ_u) menunjukkan tegangan maksimum yang biasanya disebut sebagai kekuatan tarik bahan pada kurva tegangan-regangan (Callister, 2007: 145).

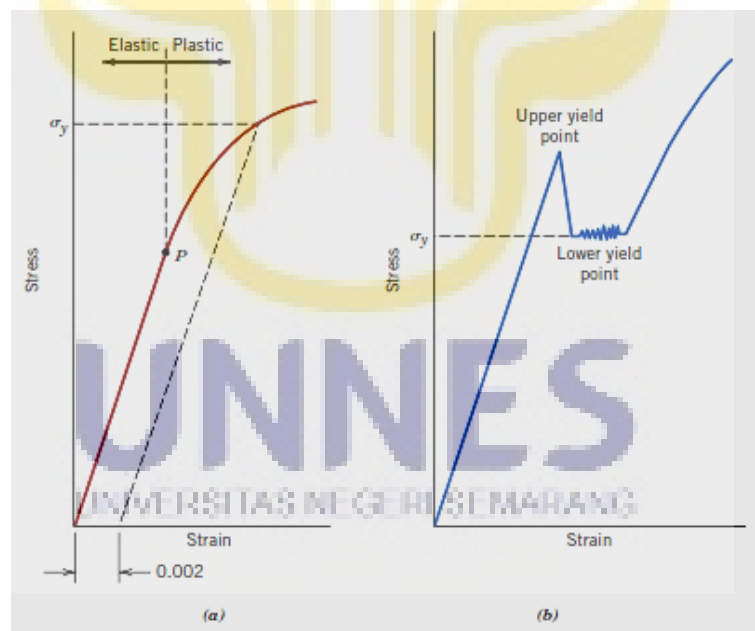
l. Kekuatan Patah σ_B (*Breaking Strength*)

Besar tegangan saat bahan yang diuji mengalami patah atau putus.

Berdasarkan Gambar 2.16. ditunjukkan oleh titik D (Sastranegara, 2009).

m. Tegangan Luluh tanpa Fenomena *Yield*

Hasil uji tarik yang tidak memiliki daerah linier dan *landing* yang jelas, tegangan luluh didefinisikan sebagai tegangan yang menghasilkan regangan permanen sebesar 0,002 atau 0,005 (Callister, 2007: 143).



- (a) Kurva tegangan-regangan tanpa fenomena *yield* yang ditentukan dengan metode ofset 0,002 (b) Kurva tegangan-regangan dengan fenomena *yield*

Gambar 2.17. Tipe Kurva Tegangan-Regangan

(Sumber: Callister, 2007: 143)

Beberapa istilah lain yang penting tentang interpretasi hasil uji kekuatan tarik sebagai berikut:

a. Kelenturan (*Ductility*)

Sifat mekanik bahan yang menunjukkan nilai deformasi plastis yang terjadi sebelum bahan putus atau gagal pada uji tarik. Bahan disebut lentur (*ductile*) apabila regangan plastis yang terjadi sebelum putus > 5%, jika kurang maka bahan disebut getas (*brittle*) (Callister, 2007: 147).

b. Derajat Kelentingan (*Resilience*)

Derajat kelentingan didefinisikan sebagai kapasitas bahan menyerap energi dalam fase perubahan elastis saat beban dihilangkan, sering disebut *Modulus of Resilience* (Callister, 2007: 149).

c. Derajat Ketangguhan (*Toughness*)

Kapasitas suatu bahan menyerap energi dalam fase plastis sampai bahan tersebut putus (Callister, 2007: 150).

d. Pengerasan Regangan (*Strain Hardening*)

Sifat dari kebanyakan logam yang ditandai dengan naiknya nilai tegangan sebanding dengan regangan setelah memasuki fase plastis (Sastranegara, 2009).

Berdasarkan kajian teori mengenai uji kekuatan tarik di atas, maka data yang dicari dalam penelitian ini yaitu tegangan proporsional (σ_P), tegangan maksimum (σ_U) dan regangan (ϵ) dengan rumus sebagai berikut:

a. Perhitungan Tegangan Proporsional (σ_P)

$$1 \text{ mm} = \frac{P_u\%}{h_u}$$

$$P_P = \frac{h_P \times 1 \text{ mm}}{100} \times P$$

$$\sigma_P = \frac{P_P}{A_0} \dots \dots \dots (2.7)$$

Di mana:

P = Beban yang digunakan (N)

P_p = Beban proporsional (N)

P_u = Beban *ultimate* atau maksimum (N)

A_0 = Luas awal (mm^2)

h_u = Tinggi *ultimate* atau maksimum (mmb)

h_p = Tinggi proporsional (mmb)

σ_p = Tegangan proporsional (MPa)

b. Perhitungan Tegangan Maksimum (σ_u)

$$\sigma_u = \frac{P_u}{A_0} \dots \dots \dots (2.8)$$

Di mana: σ_u = Tegangan *ultimate* atau maksimum (MPa)

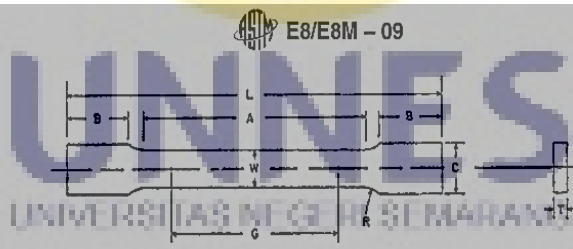
P_u = Beban *ultimate* atau maksimum (N)

A_0 = Luas awal (mm^2)

c. Perhitungan Regangan (ϵ)

Perhitungan regangan hasil uji tarik menggunakan persamaan 2.5.

Pengujian kekuatan tarik dalam hal ini logam hasil pengelasan harus menggunakan benda uji yang dimensinya sudah distandarkan. Penelitian ini pada pengujian tarik menggunakan standar ASTM E8/EM8-09.



	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]	

Gambar 2.18. Standar ASTM E8/EM8-09 untuk Spesimen Uji Tarik (Sumber: ASTM, 2012)

B. Kajian Penelitian yang Relevan

Penelitian yang dilakukan oleh Saifudin *et al.* (2011: 4) dengan judul “Pengaruh *Preheat* terhadap Struktur Mikro dan Kekuatan Tarik Las Logam tak Sejenis Baja Tahan Karat Austenitik AISI 304 dan Baja Karbon A36”, menyimpulkan bahwa dengan perlakuan *Preheat* akan menurunkan nilai kekerasan pada *HAZ* baja karbon dibandingkan dengan *HAZ* baja karbon tanpa *Preheat*, sehingga mampu menaikkan ketangguhannya (*toughness*). Perlakuan *Preheat*, akan menaikkan nilai kekerasan pada *HAZ* baja tahan karat dibandingkan dengan *HAZ* baja karat tanpa *Preheat*, hal ini disebabkan adanya endapan (*Precipitation*) karbida krom di antara batas butir austenit. Pemberian perlakuan *Preheat*, kekuatan tarik (*tensile strength*) dan kekuatan luluh (*yield strength*) pada sambungan las semakin meningkat.

Terdapat kekurangan pada penelitian di atas yaitu hasil kekuatan tarik antara pengelasan yang tidak mendapatkan *Preheat* sama dengan pengelasan yang diberi *Preheat*. Pengelasan pada baja tahan karat austenit sebenarnya tidak perlu diberi pemanasan mula (*Pre Heating*). Menurut Wiryosumarto dan Okumura (2000: 112), bahwa dalam pengelasan baja tahan karat austenit hendaknya jangan dilakukan pemanasan mula tetapi dihindari terjadinya masukan panas yang tinggi, sehingga tidak terjadi pengendapan antar butir dari karbid-khrom.

Penelitian yang dilakukan Arifin *et al.* (2012) dengan judul “Pengaruh *Preheat* terhadap Struktur Mikro dan Sifat Mekanis Sambungan Las *GTAW* Material Baja Paduan 12Cr1MoV yang Digunakan pada *Superheater Boiler*”, menyimpulkan bahwa perbedaan temperatur *Preheat* menyebabkan ukuran butir

struktur mikro yang berbeda *Preheat* 250°C memiliki sifat mekanis yang lebih baik dari pada parameter *Preheat* yang lain, dengan kekuatan tarik sebesar 531 MPa, harga impak 73,2 Joule dan rata-rata kekerasan pada logam las 267,13 kg/mm. Penelitian ini pemberian temperatur *Pre Heating* tertinggi hanya sampai 250°C, sementara berdasarkan teori temperatur *Pre Heating* dapat diberikan hingga 400°C. Oleh karena itu, penelitian ini pemberian temperatur *Pre Heating* lebih dari 250°C supaya diketahui batas maksimal temperatur *Pre Heating*.

Menurut Darsin *et al.* (2010: 74) dalam penelitian yang berjudul “Analisis Sifat Mekanik dan Struktur Mikro Paduan Aluminium 5083 akibat Pengelasan *Metal Inert Gas (MIG)* dengan Variasi *Preheat* dan *Post Heat*”, menyimpulkan bahwa pemberian laku panas pada pengelasan *MIG* pada bahan aluminium 5083 menaikkan nilai kekuatan tarik dengan kenaikan tertinggi apabila diberikan *Pre* dan *Post heat* sekaligus. Sementara itu, pada sifat elongasi, perlakuan panas meningkatkan elongasinya melebihi angka elongasi *base metal*.

Pemberian temperatur *Pre* dan *Post Heating* pada penelitian ini hanya satu variasi saja yaitu 120°C. Pengaruh temperatur yang lainnya tidak diketahui struktur mikro dan hasil sifat mekanik pengelasannya. Pemberian variasi temperatur minimal tiga variasi untuk mengetahui sifat mekanik dan struktur mikro pada variasi temperatur selain 120°C. Oleh karena itu, pada penelitian ini akan diberi variasi temperatur *Pre* dan *Post Heating* lebih dari satu variasi.

Menurut Rusnoto (2014: 78) dalam penelitiannya yang berjudul “Pengaruh Proses *Preheating* pada Pengelasan *SMAW* terhadap Kekuatan Tarik Material Baja ST 37”, menyimpulkan bahwa kekuatan tarik hasil pengelasan *SMAW*

material non *Preheating* adalah 237,345 N/mm², spesimen temperatur *Preheating* 95°C sebesar 376,860 N/mm², spesimen temperatur *Preheating* 105°C sebesar 396,32 N/mm², spesimen temperatur *Preheating* 115°C sebesar 374,29 N/mm², spesimen 125 °C sebesar 420,41 N/mm². Kekuatan tarik meningkat seiring penambahan temperatur *Preheating*.

Terdapat suatu keanehan pada hasil penelitian yaitu spesimen dengan temperatur *Preheating* 115°C hasil kekuatannya lebih rendah dibanding spesimen temperatur *Preheating* 105°C, tetapi spesimen temperatur *Preheating* 125°C hasilnya lebih tinggi. Hal tersebut dimungkinkan karena adanya perbedaan parameter pengelasan seperti arus, tegangan, kecepatan pengelasan dan lain sebagainya, sehingga pada penelitian ini faktor-faktor lain yang mempengaruhi hasil pengelasan juga lebih diperhatikan selain pemberian *Pre* dan *Post Heating* seperti penentuan arus, tegangan, kecepatan, gerakan elektroda dan lain sebagainya. Faktor-faktor tersebut harus menjadi pengontrol dari pemberian *Pre* dan *Post Heating*.

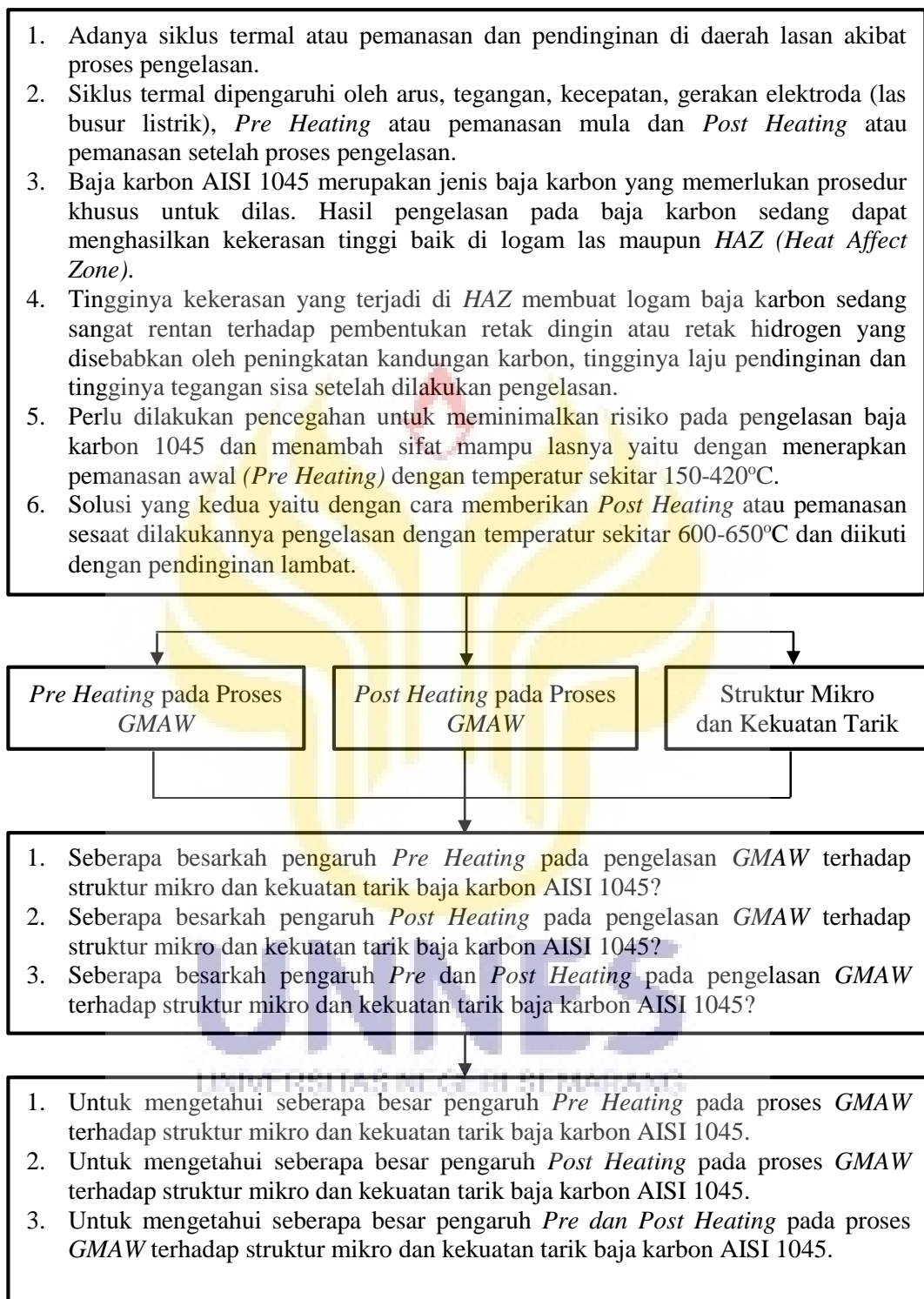
Penelitian yang dilakukan oleh Suheni *et al.* (2012: 64-65) dengan judul “Analisa Pengaruh Beda Temperatur *Post Heating* pada Proses Pengelasan *GMAW* terhadap Kekuatan Impak” menyimpulkan bahwa, pada pengelasan yang menggunakan gas lindung karbondioksida dengan temperatur *Post Heating* 350°C memiliki ketangguhan terbesar dengan nilai ketangguhan 0,13768 J/mm². Pengelasan yang menggunakan gas lindung argon dengan temperatur *Post Heating* 350°C memiliki ketangguhan terbesar dengan nilai ketangguhan 0,14766 J/mm². Hasil perhitungan pengujian impak secara keseluruhan menunjukkan hasil

pengelasan *GMAW* dengan gas lindung argon (Ar) relatif lebih baik daripada pengelasan *GMAW* dengan gas lindung karbondioksida (CO_2).

Penelitian di atas variasi temperatur *Post Heating* hanya sampai 500°C , sehingga pada penelitian ini variasi temperatur yang akan diberikan mencapai 650°C . Sesuai dengan teori pengelasan baja karbon sedang dan tinggi yang memerlukan pemanasan kemudian atau *Post Heating* sampai temperatur 650°C . Penelitian ini juga akan diuji struktur mikronya, sehingga diketahui struktur yang terbentuk pada daerah lasan dan *HAZ*.

C. Kerangka Pikir Penelitian

Penelitian ini mempunyai akar masalah pada struktur mikro dan kekuatan tarik baja karbon AISI 1045 hasil pengelasan *GMAW*, dengan dilatarbelakangi oleh beberapa permasalahan proses *GMAW* pada baja karbon AISI 1045 seperti siklus termal las, baja karbon AISI 1045 yang cukup sulit dilas karena kadar karbon yang cukup tinggi, tingginya nilai kekerasan pada daerah logam las dan *HAZ*, karena pengelasan baja karbon sedang dapat memunculkan struktur martensit dan perlunya pemberian *Pre* dan *Post Heating*. Pemberian *Pre* dan *Post Heating* merupakan variabel bebas dan struktur mikro dan kekuatan tarik baja karbon AISI 1045 merupakan variabel terikat. Permasalahan tersebut memunculkan beberapa rumusan masalah, sehingga tujuan penelitian ini dapat ditentukan yaitu untuk mengetahui seberapa besar pengaruh *Pre* dan *Post Heating* pada proses *GMAW* terhadap struktur mikro dan kekuatan tarik baja karbon AISI 1045. Kerangka pikir penelitian diperjelas pada Gambar 2.17 berikut ini.



Gambar 2.19. Kerangka Pikir Penelitian

BAB V

PENUTUP

A. Simpulan

Hasil penelitian ini disimpulkan berdasarkan tujuan penelitian sebagai berikut:

1. Perlakuan *Pre Heating* dapat mempengaruhi struktur mikro dan kekuatan tarik logam hasil pengelasan. Struktur yang dominan pada logam las yaitu ferit *acicular*, sedangkan pada HAZ struktur yang dominan yaitu ferit. Perlakuan *Pre Heating* menyebabkan butiran struktur lebih besar dan memanjang jika dibandingkan dengan struktur pada spesimen tanpa perlakuan. Spesimen perlakuan *Pre Heating* 150°C kekuatan tariknya mengalami peningkatan tertinggi dari spesimen tanpa perlakuan dengan persentase sebesar 17,33%.
2. Perlakuan *Post Heating* dapat mempengaruhi struktur mikro dan kekuatan tarik logam hasil pengelasan. Struktur yang dominan pada logam las yaitu ferit halus dan *acicular*, sedangkan pada HAZ struktur yang dominan yaitu ferit halus. Perlakuan *Post Heating* menyebabkan butiran struktur lebih besar dan memanjang jika dibandingkan dengan struktur pada spesimen tanpa perlakuan. Spesimen perlakuan *Post Heating* 450°C kekuatan tariknya mengalami peningkatan tertinggi dari spesimen tanpa perlakuan dengan persentase sebesar 2,72%. Sementara itu, pada spesimen perlakuan *Post Heating* 650°C kekuatan tariknya mengalami penurunan tertinggi dari spesimen tanpa perlakuan dengan persentase sebesar 10,13%.

3. Perlakuan *Pre* dan *Post Heating* dapat mempengaruhi struktur mikro dan kekuatan tarik logam hasil pengelasan. Struktur yang dominan pada logam las yaitu ferit halus dan ferit batas butir, sedangkan pada *HAZ* struktur yang dominan yaitu ferit halus. Perlakuan *Pre* dan *Post Heating* dapat mengurangi struktur perlit pada *HAZ* dan tertutupi oleh struktur ferit yang ukurannya semakin membesar dan memanjang. Spesimen perlakuan *Pre* dan *Post Heating* 150°C+450°C kekuatan tariknya mengalami peningkatan tertinggi dari spesimen tanpa perlakuan dengan persentase sebesar 7,80%.

B. Saran

Saran dari hasil penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Pengelasan pada baja AISI 1045 dapat diberi perlakuan *Pre Heating* dengan temperatur 150°C untuk mendapatkan kekuatan tarik yang maksimum.
2. Pengelasan pada baja AISI 1045 dapat diberi perlakuan *Post Heating* dengan temperatur 450°C untuk mendapatkan kekuatan tarik yang maksimum.
3. Pengelasan pada baja AISI 1045 dapat diberi perlakuan *Pre* dan *Post Heating* dengan temperatur 150°C+450°C untuk mendapatkan kekuatan tarik yang maksimum.
4. Penelitian selanjutnya dapat ditambahkan pengujian seperti inspeksi las dengan uji *penetrant*, uji laju korosi, tingkat porositas yang ditimbulkan akibat pemberian perlakuan *Pre* dan *Post Heating*.

DAFTAR PUSTAKA

- ASM Handbook Volume 6. 1993. *Welding Brazing and Soldering*. United State of America.
- ASM Handbook Volume 9. 2004. *Metallography And Microstructures*. United State of America.
- ASM International. 2004. *Tensile Testing, Second Edition*. United State of America.
- ASTM. 2012. *Annual Book of ASTM Standards. Volume 3*. West Conshohocken: American Society for Testing and Material.
- Aisyah. 2011. *Perubahan Struktur Mikro dan Sifat Mekanik pada Pengelasan Drum Baja Karbon Wadah Limbah Radioaktif*. Prosiding Seminar Nasional Teknologi Pengolahan Limbah VIII. Pusat Teknologi Limbah Radioaktif-BATAN.
- Alip, Mochamad. 1989. *Teori dan Praktek Las*. Jakarta: Depdikbud.
- Arifin, A. et al. 2012. *Pengaruh Preheat Terhadap Struktur Mikro dan Sifat Mekanis Sambungan Las GTAW Material Baja Paduan 12Cr1MoV yang Digunakan pada Superheater Boiler*. Seminar Nasional Pascasarjana XII, Surabaya 12 Juli 2012. Jurusan Teknik Mesin dan Industri, FT UGM.
- Azom. 2012. *AISI 1045 Medium Carbon Steel*. Online. Available at <http://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=6130>. [accessed 26/02/2016]
- Callister, William D. 2007. *Materials Science and Engineering*. United of America: Quebecor Versailles.
- Chandra, A. 2011. *Pengaruh Preheating terhadap Ketangguhan dan Struktur Mikro pada Pengelasan Adapter Bucket Excavator dengan Metode GTAW*. Skripsi. Teknik Metalurgi dan Material Fakultas Teknik Universitas Indonesia.
- Darsin, M. et al. 2010. *Analisis Sifat Mekanik dan Struktur Mikro Paduan Aluminium 5083 akibat Pengelasan Metal Inert Gas (MIG) dengan Variasi Preheat dan Post Heat*. Jurnal ROTOR Volume 3 Nomor 2, Juli 2010. Jurusan Teknik Mesin Universitas Jember.
- Dieter, George E. 1988. *Mechanical Metallurgy*. London: McGraw-Hill Book Company.
- Ibrahim, A.I. et al. 2012. *The Effect of Gas Metal Arc Welding (GMAW) Processes on Different Welding Parameters*. International Symposium on

Robotics an Intelligent Sensors 2012 (IRIS 2012). Universiti Teknologi Mara (UTM), Faculty of Mechanical Engineering, 40450 Selangor. Available online at <http://www.sciencedirect.com>.

Kobelco-Kobe Steel, Ltd. *Welding of Stainless Steel*. Online. Available at <http://www.kobelco-welding.jp/education-center/stainless/index.html>. [accessed 26/02/2016].

Rusnoto. 2014. *Pengaruh Proses Preheating pada Pengelasan SMAW Terhadap Kekuatan Tarik Material Baja ST 37*. Politeknosains Vol. XIII No. 1, Maret 2014. Teknik Mesin Universitas Pancasakti Tegal.

Saifudin, et al. 2011. *Pengaruh Preheat terhadap Struktur Mikro dan Kekuatan Tarik Las Logam tak Sejenis Baja Tahan Karat Austenitik AISI 304 dan Baja Karbon A36*. Jurusan Teknik Mesin dan Industri, FT UGM.

Saputro, Heru. 2011. *Pengaruh Pemberian Panas Awal dengan Pengelasan SMAW (Shielded Metal Arc Welding) terhadap Ketangguhan Impak Baja Keylos 50*. Skripsi. Pendidikan Teknik Mesin Universitas Sebelas Maret.

Sari, D.M. 2015. *Pengaruh Suhu Preheating pada Hasil Pengelasan GTAW terhadap Sifat Fisis dan Mekanis Stainless Steel 304*. Skripsi. Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang.

Sastranegara, Azhari. 2009. *Mengenal Uji Tarik dan Sifat-sifat Mekanik Logam*. Online. Available at <http://www.infometrik.com/2009/09/mengenal-uji-tarik-dan-sifat-sifat-mekaik-logam/>. [accessed 13/10/2016].

Scott, D.A. 1991. *Metallography and Microstructure of Ancient and Historic Metals*. Singapore: The J. Paul Getty Museum.

Soetardjo. 1997. *Petunjuk Praktek Las Asetilin dan Las Listrik* (Moedjiarto, ed.). Surabaya: SIC Surabaya.

Sonawan, H. dan Suratman, R. 2004. *Pengantar untuk Memahami Proses Pengelasan Logam*. Bandung: CV. Alfabeta.

Sugiyono. 2012. *Metode Penelitian Kuantitatif Kualitatif dan R&D*.

Suheni et al. 2012. *Analisa Pengaruh Beda Temperatur Post Heating pada Proses Pengelasan GMAW terhadap Kekuatan Impak*. Jurnal IPTEK Vol. 16 No. 1 Mei 2012. Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknologi Industri ITATS.

Sukaini. 2016. *Pengelasan Baja Karbon*. PPPPTK VEDC Malang. Online at <http://www.vedcmalang.com/pppptkboemlg/index.php/menutuama/teknik-pengerjaan-logam/1077-carbon-steel-welding>. [accessed 19/4/2016]

- Suparjo dan Purnomo. 2012. *Variasi Temperatur Pemanasan pada Proses Perlakuan Panas terhadap Kekerasan dengan Material SS-304L*. Jurnal IPTEK Volume 16. No. 2. Hlm. 170-178.
- Widharto, S. 2007. *Menuju Juru Las Tingkat Dunia*. Jakarta: PT. Pradnya Paramita.
- _____. 2013. *Welding Inspection*. Jakarta: Mitra Wacana Media.
- Wirjosumarto, H. dan Okumura, T. 2000. *Teknologi Pengelasan Logam*. Jakarta: PT. Pradnya Paramita.
- Yaqin, M.K. *et al.* 2011. *Pengaruh Preheat dan Postheat terhadap Lebar HAZ, Struktur Mikro, dan Distribusi Kekerasan pada Proses Pengelasan SMAW Besi Cor Kelabu FC 25*. Jurnal Teknik Material dan Metalurgi 16 Februari 2011. Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
- Yunaidi dan Ilman, M.N. 2012. *Pengaruh Preheat dan Thermal Tensioning terhadap Sifat Fisis dan Mekanik pada Sambungan Las TIG Al 6061-T6*. Teknik Mesin Politeknik LPP dan Teknik Mesin dan Industri Fakultas Teknik UGM.