



**PENGARUH *PREHEATING TREATMENT* TERHADAP
KEKUATAN TARIK PROSES *GAS METAL ARC*
WELDING (GMA W) PADA BAJA ST60**

SKRIPSI

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

**oleh
Muhammad Rifki Erza Pradana
5201412086**

**JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG
2017**



**PENGARUH *PREHEATING TREATMENT* TERHADAP
KEKUATAN TARIK PROSES *GAS METAL ARC*
WELDING (GMAW) PADA BAJA ST60**

SKRIPSI

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

**oleh
Muhammad Rifki Erza Pradana
5201412086**

**JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG
2017**

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi dengan judul Pengaruh *Preheat Treatment* terhadap Kekuatan Tarik Proses *Gas Metal Arc Welding (GMAW)* Pada Baja ST60 telah dipertahan di depan sidang. Panitia Ujian Skripsi Fakultas Teknik UNNES pada tanggal 18 Januari 2017.

Oleh

Nama : Muhammad Rifki Erza Pradana
NIM : 5201412086
Program Studi : Pendidikan Teknik Mesin S1

Panitia

Ketua Panitia



Rusiyanto, S.Pd., M.T.
NIP. 197403211999031002

Sekretaris



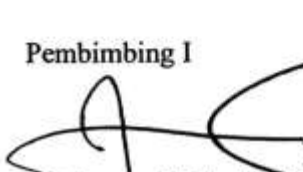
Dr. Rahmat Doni, S.T., M.T.
NIP. 197509272006041002

Penguji Utama



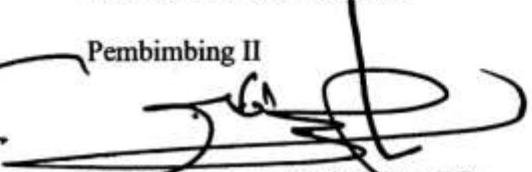
Drs. Masugino, M.Pd.
NIP. 195207211980121001

Pembimbing I



Rusiyanto, S.Pd., M.T.
NIP. 197403211999031002

Pembimbing II



Dr. Ir. Basyirun, S.Pd., M.T., IPP.
NIP. 196809241994031002



Mengetahui,
Ketua Panitia Ujian Skripsi Fakultas Teknik UNNES

Dr. Nur Qadus, M.T.
NIP. 196911301994031001

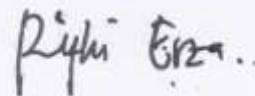
PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama Mahasiswa : Muhammad Rifki Erza Pradana
NIM : 5201412086
Program Studi : Pendidikan Teknik Mesin S1
Fakultas : Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang

Dengan ini menyatakan bahwa skripsi dengan judul “**Pengaruh *Preheat Treatment* terhadap Kekuatan Tarik Proses *Gas Metal Arc Welding (GMAW)* Pada Baja ST60**” 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, 18 Januari 2017
Yang membuat pernyataan



Muhammad Rifki Erza Pradana
NIM. 5201412086

ABSTRAK

Rifki, Erza Pradana. M. TM. FT. UNNES. 2016. “Pengaruh *Preheat Treatment* terhadap Kekuatan Tarik Proses *Gas Metal Arc Welding (GMAW)* pada Baja ST60.”

Proses pengelasan mengalami pemanasan yang menyebabkan terjadinya perubahan sifat fisis yang berpengaruh terhadap sifat mekanis dari *raw material*. Pengelasan pada baja ST60 dapat menghasilkan kekerasan tinggi baik di logam las maupun maupun *HAZ*. Tingginya kekerasan yang terjadi pada *HAZ* membuat logam sangat rentan terhadap pembentukan retak dingin atau retak hidrogen yang disebabkan oleh peningkatan kandungan karbon, sehingga hal tersebut dapat mempengaruhi besarnya nilai kekuatan tarik dan struktur mikro logam las. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui hasil dari pengaruh *preheating treatment* pada metode pengelasan *GMAW* terhadap struktur mikro baja ST60 hasil pengelasan *Gas Metal Arc Welding (GMAW)* dan untuk mengetahui seberapa besar pengaruh *preheating treatment* terhadap kekuatan tarik lasan dan struktur mikro baja ST60 hasil pengelasan *Gas Metal Arc Welding (GMAW)*.

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah penelitian eksperimen untuk mengetahui sebab akibat berdasarkan perlakuan yang diberikan oleh peneliti yaitu berupa perlakuan panas akibat pengelasan dengan variasi *preheating treatment*. Pengelasan dilakukan dengan metode *GMAW (Gas Metal Arc Welding)* pada baja ST60 dengan elektroda ER70s dengan kampuh V terbuka 60°. Variasi *preheating treatment* yang digunakan dalam penelitian ini adalah 125°C, 225°C dan 325°C kemudian diuji dengan menggunakan foto mikro dan uji tarik dengan menggunakan standar *JIS Z2201 No.6*. Analisis data yang digunakan pada penelitian ini adalah analisis deskriptif, dimana data yang diperoleh dirata - rata dan disajikan dalam bentuk grafik kemudian dideskripsikan dan disimpulkan.

Hasil penelitian struktur mikro logam las dan *HAZ* pada variasi *preheating treatment* suhu 125°C menunjukkan butiran strukturnya kecil dan terdapat sedikit ferit *widmanstatten*, 225°C terlihat butiran strukturnya lebih besar dan lebih banyak stuktur ferit *widmanstatten* sedangkan pada suhu 325°C butirannya besar - besar dan terdapat banyak struktur ferit *widmanstatten* serta sedikit bainit. Berdasarkan uji tarik pada *raw material* kekuatan tariknya sebesar 61,06 kg/mm², pada suhu 125°C sebesar 64,62 kg/mm², pada suhu 225°C sebesar 58,06 kg/mm² dan pada suhu 325°C kekuatan tariknya sebesar 56,9 kg/mm². Tegangan tertinggi pada suhu 125°C dengan 64,62 kg/mm² sedangkan nilai terendah yaitu suhu 325°C sebesar 56,9 kg/mm². Dapat disimpulkan bahwa semakin besar *preheating treatment* yang dilakukan maka semakin kecil pula kekuatan tariknya. Saran yang diberikan yakni perlakuan *preheating treatment* menggunakan suhu 125°C.

Kata kunci: *Preheating Treatment, GMAW, Tegangan tarik, Elektroda ER70s*

MOTTO DAN PERSEMBAHAN

MOTTO

1. Life is never flat.
2. Ilmu adalah harta yang tak akan pernah habis, pengetahuan yang kita miliki akan lebih berarti apabila diamankan.
3. Keajaiban akan datang pada kita jika berusaha dan bertawakal kepada Allah
S.W.T.

Ucapan Terima Kasih

Penulis ucapkan kepada:

1. **Sutarso dan Ratriana Erinawati** orangtuaku yang selalu memberikan semangat, bimbingan, doa, finansial dan kasih sayang.
2. **M. Alfisyahr Erza D., M. Latiful Erza T., dan M. Saktiadhi Erza Arrizky** adiku yang akan lebih sukses dari kakaknya .
3. **Teman-teman kost betta** yang selalu memberi hiburan dan support dengan tingkah konyol dan kekocakannya.
4. **Teman-teman Jangkrik, PPL, KKN dan PTM 2012** yang selalu membantu dalam suka maupun duka.

PRAKATA

Segala puji bagi Allah SWT atas rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyusun skripsi dengan judul “Pengaruh *Preheating Treatment* Terhadap Kekuatan Tarik Proses *Gas Metal Arc Welding (GMAW)* Pada Baja ST60”. Skripsi ini disusun dalam rangka menyelesaikan studi Strata 1 sebagai salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Pendidikan pada Program Studi Pendidikan Teknik Mesin Jurusan Teknik Mesin Universitas Negeri Semarang. Skripsi ini dapat diselesaikan berkat bimbingan, motivasi dan bantuan semua pihak. Pada kesempatan ini dengan segala hormat penulis ingin menyampaikan terima kasih kepada:

1. Bapak Dr. Nur Qudus, M.T., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang.
2. Bapak Rusiyanto, S.Pd., M.T., selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin dan Ketua Program Studi Pendidikan Teknik Mesin dan sebagai dosen pembimbing I Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang yang telah memberikan bimbingan dan masukan kepada penulis dalam penyusunan skripsi.
3. Dr. Ir. Basyirun, S.Pd., M.T., IPP. selaku dosen pembimbing II yang telah memberikan bimbingan dan masukan kepada penulis dalam penyusunan skripsi.
4. Drs. Masugino, M.Pd., selaku dosen penguji yang telah memberikan masukan dan saran kepada penulis.
5. Kedua orang tua yang selalu mendoakan serta memberikan motivasi.

6. Semua pihak yang telah banyak membantu dan memberikan motivasi kepada penulis dalam penyusunan skripsi.

Penulis berusaha semaksimal mungkin menulis skripsi ini dengan baik, oleh karena itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun dalam perbaikan skripsi ini. Semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi semuanya, khususnya Jurusan Teknik Mesin Universitas Negeri Semarang.

Semarang, 18 Januari 2017

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
PERNYATAAN KEASLIAN.....	iii
ABSTRAK	iv
MOTTO DAN PERSEMBAHAN.....	v
KATA PENGANTAR.....	vi
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR SIMBOL DAN SINGKATAN	ix
DAFTAR TABEL.....	x
DAFTAR GAMBAR.....	xi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
A. Latar Belakang Masalah	1
B. Identifikasi Masalah.....	3
C. Pembatasan Masalah	6
D. Rumusan Masalah.....	7
E. Tujuan Penelitian	7
F. Manfaat Penelitian	7
BAB II KAJIAN PUSTAKA	8
A. Kajian Teori.....	8
1. Las GMAW (<i>Gas Metal Arc Welding</i>)	8
2. Kawat Las (<i>Filler</i>)	9
3. Gas Pelindung.....	10
4. Baja Karbon Tinggi	15
5. Struktur Mikro.....	16
6. Siklus Termal Daerah Lasan.....	23
7. <i>Preheating Treatment</i>	25
8. Pengujian Tarik.....	29
B. Kajian Penelitian yang Relevan.....	33
C. Kerangka Pikir Penelitian.....	35

BAB III METODE PENELITIAN	36
A. Variabel Penelitian	36
B. Alat dan Bahan Penelitian	37
C. Prosedur Penelitian	38
1. Diagram Alir Penelitian	40
2. Proses Penelitian	41
3. Data Penelitian	47
4. Analisis Penelitian	48
5. Lembar Penelitian	48
BAB IV HASIL PENELITIAN	49
A. Hasil Penelitian	49
1. Komposisi Bahan	49
2. Hasil Foto Mikro	49
3. Hasil uji tarik tanpa perlakuan <i>preheating treatment</i>	54
4. Hasil uji tarik dengan perlakuan <i>preheating treatment</i>	55
B. Pembahasan	58
1. Pengaruh tanpa Perlakuan <i>Preheating Treatment</i> dan Perlakuan <i>Preheating treatment</i> terhadap Struktur Mikro ..	58
2. Pengaruh tanpa Perlakuan <i>Preheating Treatment</i> dan Perlakuan <i>Preheating treatment</i> terhadap Kekuatan Tarik..	61
BAB V PENUTUP	65
A. Simpulan	65
B. Saran	66
DAFTAR PUSTAKA	67
LAMPIRAN	69

DAFTAR SIMBOL DAN SINGKATAN

Simbol	Arti
°C	Derajat Celcius
%	Persen
F	Gaya
A_0	Luas mula penampang
L	Panjang batang Uji
P_{maks}	Beban Maksimum yang digunakan
μm	Mikromili
σ	Tegangan
A	Ampere
ΔL	Selisih Panjang
L_1	Panjang Akhir
L_0	Panjang Mula

Singkatan	Arti
Cm ³	Centimeter kubik
mm	Milimeter
mm ²	Milimeter persegi
Kg/mm ²	Kilogram per milimeter persegi
Kg	Kilogram
N	Newton
N/mm ²	Newton per milimeter persegi
MPa	Mega Pascal
1 Kg	10 Newton
HAZ	<i>Heat Affect Zone</i>
GMAW	<i>Gas Metal Arc Welding</i>
JIS	<i>Japan Industrial Standartion</i>
MIG	<i>Metal Inert Gas</i>
MAG	<i>Metal Active Gas</i>
Ar	<i>Argon</i>
He	<i>Helium</i>
SMAW	<i>Shield Metal Arc Welding</i>
FBB	<i>Ferit Batas Butir</i>
FA	<i>Ferit Acular</i>
UHP	<i>Ultra High Pure</i>

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
2.1. Gas lindung untuk <i>GMAW</i>	13
2.2. Karakteristik dan contoh aplikasi baja karbon	16
2.3. Fasa yang ada pada baja	21
2.4. Suhu <i>Preheat</i>	26
3.1. Komposisi kimia <i>filler</i> (kawat las)	38
3.2. Jumlah Spesimen Pengujian.....	45
3.3. Lembar penelitian.....	48
4.1. Komposisi Bahan	49
4.2. Hasil Uji Tarik <i>Raw Material</i>	54
4.3. Nilai modulus elastisitas spesimen uji <i>Raw Material</i>	55
4.4. Nilai tegangan luluh spesimen uji <i>Raw Material</i>	55
4.5. Hasil Uji Tarik dengan Perlakuan <i>Preheating Treatment</i>	55
4.6. Nilai Regangan Uji Tarik spesimen dengan perlakuan.....	56
4.7. Nilai Tegangan Luluh uji tarik dengan perlakuan.....	56

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
2.1. Spesifikasi Alat las GMAW	9
2.2. Karakteristik Struktur Mikro Baja Karbon.....	17
2.3. Diagram Keseimbangan Besi-Karbon.....	18
2.4. Sel satuan <i>FCC</i>	20
2.5. Sel satuan <i>BCC</i>	20
2.6. Struktur Mikro Daerah Pengaruh Las	23
2.7. Grafik tegangan tarik.....	30
2.8. Grafik regangan.....	31
2.9. Kerangka Pikir Penelitian	35
3.1. Bahan Baja Karbon Tinggi ST60	38
3.2. Kampuh Sudut 60°	38
3.3. Standar Spesimen <i>JIS Z2201 No.6</i>	38
3.4. Diagram Alir Penelitian	40
3.5. Proses pembuatan kampuh.....	42
3.6. Ukuran kampuh V tunggal sudut 60°	42
3.7. Persiapan proses <i>preheating treatment</i>	43
3.8. Hasil pengelasan.....	44
3.9. Standar spesimen <i>JIS Z2201 No.6</i>	44
3.10. Proses pemotongan untuk membuat spesimen.....	45
4.1. Struktur mikro daerah <i>base metal</i> spesimen <i>RAW</i> dengan perbesaran 200X	50
4.2. Struktur mikro daerah <i>HAZ</i> spesimen <i>RAW</i> dengan perbesaran 200X	50
4.3. Struktur mikro daerah las spesimen <i>RAW</i> dengan perbesaran 200X	51
4.4. Struktur mikro daerah <i>HAZ</i> dengan <i>preheating treatment</i> 125°C perbesaran 200X.....	51
4.5. Struktur mikro daerah las dengan <i>preheating treatment</i> 125°C perbesaran 200X	52

4.6. Struktur mikro daerah <i>HAZ</i> spesimen dengan <i>preheating treatment</i> 225°C dengan perbesaran 200X	52
4.7. Struktur mikro daerah las spesimen dengan <i>preheating treatment</i> 225°C perbesaran 200X	53
4.8. Struktur mikro daerah <i>HAZ</i> spesimen dengan <i>preheating treatment</i> 325°C perbesaran 200X	53
4.9. Struktur mikro daerah las spesimen dengan <i>preheating treatment</i> 325°C perbesaran 200X	54
4.10. Diagram Batang Nilai Tegangan Tarik	56
4.11. Diagram Batang Nilai Regangan	57
4.12. Diagram Batang Nilai Tegangan Luluh	58
4.13. Grafik pengaruh <i>preheating treatment</i> terhadap tegangan tarik	61
4.14. Grafik pengaruh <i>preheating treatment</i> terhadap regangan	62
4.15. Grafik pengaruh <i>preheating treatment</i> terhadap tegangan Luluh	64

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang Masalah

Proses pengelasan merupakan sarana yang sangat penting dalam dunia industri manufaktur. Proses tersebut sering digunakan dalam pembuatan bangunan konstruksi baja dan permesinan yang meliputi pembuatan badan kapal, jembatan, rangka kendaraan, tower dan konstruksi umum lainnya. Oleh sebab itu rancangan las dan cara pengelasan harus memperhatikan kesesuaian antara cara pengelasan, pemeriksaan, bahan, jenis las, dan parameter dalam pengelasan. Pengelasan baja karbon tinggi sulit dilas karena mempunyai tingkat kemampuan las yang kecil, maka dari itu diperlukan perlakuan panas dalam pengelasan baja karbon tinggi.

Proses pengelasan yang menghasilkan panas mengakibatkan perubahan struktur mikro dan kekuatan tarik. Temperatur pengelasan menghasilkan daerah las berupa logam las dan daerah pengaruh panas (*Heat Affected Zone/HAZ*) yang mengalami serangkaian siklus termal, yaitu pemanasan sampai mencapai suhu 1350°C kemudian diikuti dengan pendinginan. Siklus termal tersebut mempengaruhi struktur mikro logam las dan kekuatan tarik, dimana logam las mengalami perubahan struktur bahan baja karbon tinggi dan mempengaruhi kekuatan tarik logam hasil pengelasan. Logam hasil pengelasan umumnya terjadi pendinginan antara temperatur 800°C - 500°C dipakai sebagai acuan pada pengelasan bahan baja karbon, karena pada interval suhu tersebut terjadi perubahan struktur mikro bahan yang bergantung pada kecepatan pendinginan. Panas yang ada pada saat

pengelasan ini mempengaruhi perubahan struktur mikro dan kekuatan tarik dari logam hasil pengelasan.

Pengelasan akan membuat bahan menjadi panas yang kemudian akan mengalami pendinginan. Lamanya pendinginan dalam suatu daerah temperatur tertentu dari suatu siklus termal las sangat mempengaruhi struktur mikro dan sifat mekanik sambungan las. Struktur mikro dan sifat mekanik dari daerah *HAZ* sebagian besar tergantung lamanya pendinginan dari temperatur 800°C sampai 500°C. Sedangkan retak dingin, dimana hidrogen memegang peranan penting, terjadinya sangat tergantung oleh lamanya pendinginan dari temperatur 800°C sampai 300°C atau 100°C. Maka dari itu diperlukan perlakuan panas untuk menormalkan bahan baja karbon tinggi yang meningkatkan struktur mikro dan kekuatan tarik sambungan las (Wirjosumarto dan Okumura, 2000: 50).

Panas hasil pengelasan yang mencapai 1300°C dapat mempengaruhi struktur mikro dan kekuatan tarik sambungan akibat angka pemuaian baja karbon tinggi, penurunan ketahanan korosi, penurunan sifat mekanik dan penggetasan akibat terbentuknya endapan halus diantara batas butir *austenit*. Endapan dapat terbentuk karena pendinginan lambat saat pengelasan pada temperatur antara 900°C sampai dengan 450°C. Pada sisi lain, baja karbon akan mengalami pengerasan dan ketangguhan yang rendah di daerah *HAZ*. Unsur tersebut akan mengakibatkan perubahan struktur mikro dan kekuatan tarik logam hasil pengelasan.

Menurut penelitian yang sudah ada menyimpulkan bahwa perlakuan panas yang diberikan kepada bahan baja karbon rendah dapat menurunkan tegangan sisa

akibat pengelasan. Perubahan yang terjadi akibat perlakuan panas dan menggunakan pendinginan udara mengakibatkan terbentuknya austenit yang berubah menjadi *ferrit*. Turunnya temperatur yang mengubah *austenit* menjadi *ferrit* cenderung menurunkan kekuatan tarik dan merubah struktur mikro dari sambungan las tersebut. Maka dari itu diharapkan untuk tidak menggunakan perlakuan panas pada bahan baja karbon rendah lebih baik untuk baja karbon tinggi yang mempunyai sifat pengelasan yang rendah.

Baja karbon tinggi proses pengelasan lebih sulit daripada baja karbon jenis yang lain. Kandungan karbon yang semakin tinggi lebih memungkinkan terbentuknya *martensit* di logam las dan *HAZ* dari pengaruh las yang panas dapat merubah struktur mikro bahan. Prosedur pengelasan dengan elektroda berhidrogen rendah sangat disarankan untuk hasil yang lebih baik. *Preheat* dengan temperatur 400°C atau lebih dapat mencegah penggetasan didaerah logam las dan *HAZ*. *Post Heating* juga disarankan untuk pelat – pelat yang tebal (Sonawan dan Suratman, 2004: 41).

B. Identifikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah diatas, maka dapat diidentifikasi faktor – faktor yang mempengaruhi struktur mikro dan kekuatan tarik pada benda yang dilas yaitu:

1. Jika arus las terlalu tinggi, mengakibatkan suatu lapisan las yang lebar dan datar dengan kerutan yang kasar oleh bertambahnya gaya busur api. Gaya busur api juga menghasilkan suatu bentuk penetrasi yang dalam dengan jumlah percikan yang berlebihan. Arus las yang terlalu tinggi dapat

terperangkapnya gas dalam las mengakibatkan karat. Pemanasan yang berlebihan khususnya pada bahan yang tipis yang sedang dilas, dan juga elektroda, mengakibatkan logam hasil pengelasan yang tidak memuaskan. Arus las yang terlalu tinggi dapat merubah struktur mikro dan menurunkan kekuatan tarik logam hasil pengelasan.

2. Arus las yang terlalu rendah mengakibatkan busur api sulit dikontrol dan seringkali ujung elektroda menyatu dengan pelat menyebabkan suatu arus pendek dan elektroda membara karena pemanasan tahanan, jika tidak diputuskan. Arus las rendah cenderung mengakibatkan lapisan las bertambah tuinggi dan terbentuk bola dengan lebar yang tidak teratur dengan terak yang terkandung didalam celah – celah dan sulit dihilangkan. Penetrasi yang dangkal pada pusat lapisan las sedangkan kaki – kaki las seringkali hanya menempel ke pelat. Arus las yang terlalu rendah dapat merubah struktur mikro dan menurunkan kekuatan tarik logam hasil pengelasan.
3. Pengelasan dengan posisi datar penting bahwa sudut unkit adalah 90° untuk menjamin bahwa lapisan diendapkan simetris. Terdapat juga kecenderungan untuk terbentuknya tumpang tindih pada satu sisi dan pemotongan bawah terjadi pada sisi lainnya bila elektroda diungkit terlalu jauh ke satu sisi. Kemiringan elektroda yang bervariasi diantara 65° dan 75° dapat mempengaruhi dalamnya penetrasi dan tinggi serta bentuk lapisan las. Semakin curam sudut maka semakin rata lapisan dan semakin besar kecenderungan untuk penetrasi terutama pada lubang akar bentuk “V” tunggal terak cenderung membanjiri las. Sebaliknya untuk sudut yang dangkal

mengakibatkan busur mendorong logam las yang mencair menuju lapisan yang lebih tinggi dengan penetrasi yang lebih kecil dan bahaya terkurungnya terak. Posisi pengelasan dengan sudut yang tidak diatur dapat mempengaruhi perubahan struktur mikro dan menurunkan kekuatan tarik logam hasil pengelasan.

4. Kecepatan pengelasan yang tidak stabil dapat mempengaruhi penetrasi bahan logam las karena apabila kecepatan pengelasan terlalu tinggi dapat mengakibatkan penetrasi rendah pada logam las. Sebaliknya, apabila kecepatan pengelasan terlalu rendah mengakibatkan penetrasi terlalu dalam. Akibat kecepatan las yang tidak stabil dapat mempengaruhi struktur mikro dan kekuatan tarik, maka dari itu pada saat pengelasan diharapkan untuk kecepatan las supaya stabil dapat meningkatkan struktur mikro dan kekuatan tarik logam hasil pengelasan.
5. Struktur mikro daerah *HAZ* berubah secara berangsur dari struktur logam induk ke struktur logam las. Pada daerah *HAZ* yang dekat dengan garis lebur, kristalnya tumbuh dengan cepat dan membentuk butir – butir kasar. Pada Daerah batas las di mana buti – butir sangat kasar logam menjadi sangat getas dan disebut penggetasan batas las. Pada batas las ini terjadi konsentrasi tegangan yang disebabkan oleh diskontinuitas pada kaki manik las, takik las, retak las, dan lain sebagainya. Kegetasan batas las ini, disebabkan oleh butir – butir yang kasar, mungkin juga karena cacat las atau titik pusat konsentrasi tegangan yang ada didalamnya.

C. Pembatasan Masalah

Berdasarkan identifikasi masalah di atas banyaknya faktor dari pengaruh panas pada proses pengelasan pada penelitian ini dibatasi Pengaruh *Preheating Treatment* terhadap kekuatan tarik proses *Gas Metal Arc Welding (GMAW)* pada bahan baja ST60, maka penelitian ini dibatasi yaitu pengaruh *preheating treatment* dengan ketentuan sebagai berikut:

1. Penelitian menggunakan alat las *GMAW (Gas-Metal Arc Welding)*.
2. Bahan yang digunakan baja karbon tinggi ST60.
3. untuk pengelasan *GMAW* dengan *filler* ER70S.
4. Kampuh yang digunakan yaitu kampuh V tunggal 60°.
5. Spesimen pengujian tarik menggunakan standar *JIS 2201 No.6*.
6. Arus yang digunakan 160A.
7. Arus listrik *DC (-)* polaritas lurus.
8. Tegangan yang digunakan 25 Volt.
9. Gas pelindungan *Argon*.
10. Jarak elektroda dengan logam diasumsikan 3 mm dengan kecepatan las stabil dengan disetting dari alat las.
11. Perlakuan preheat akan digunakan suhu dengan variasi 125, 225, dan 325°C.
12. Pengujian sifat fisis menggunakan uji foto struktur mikro.
13. Pengujian sifat mekanik menggunakan uji tarik (*Tensile Strength*).

D. Rumusan Masalah

1. Seberapa besar pengaruh tanpa *preheating treatment* terhadap struktur mikro dan kekuatan tarik proses *Gas Metal Arc Welding* pada bahan baja karbon tinggi ST 60 ?
2. Seberapa besar pengaruh *preheating treatment* terhadap struktur mikro dan kekuatan tarik proses *Gas Metal Arc Welding* pada bahan baja karbon tinggi ST 60 ?

E. Tujuan Penelitian

1. Untuk mengetahui struktur mikro dan kekuatan tarik proses *Gas Metal Arc Welding* dengan tanpa *preheating treatment* bahan baja karbon tinggi ST 60.
2. Untuk mengetahui struktur mikro dan kekuatan tarik proses *Gas Metal Arc Welding* dengan *preheating treatment* bahan baja karbon tinggi ST 60.

F. Manfaat Penelitian

1. Untuk mengetahui perlu atau tidaknya *preheating treatment* dalam perubahan struktur mikro dan meningkatkan kekuatan tarik hasil logam pengelasan *GMAW*.
2. Untuk sebagai acuan apakah *preheating treatment* dapat mempengaruhi struktur mikro dan meningkatkan kekuatan tarik logam hasil pengelasan *GMAW*.

BAB II

KAJIAN PUSTAKA

A. Kajian Teori

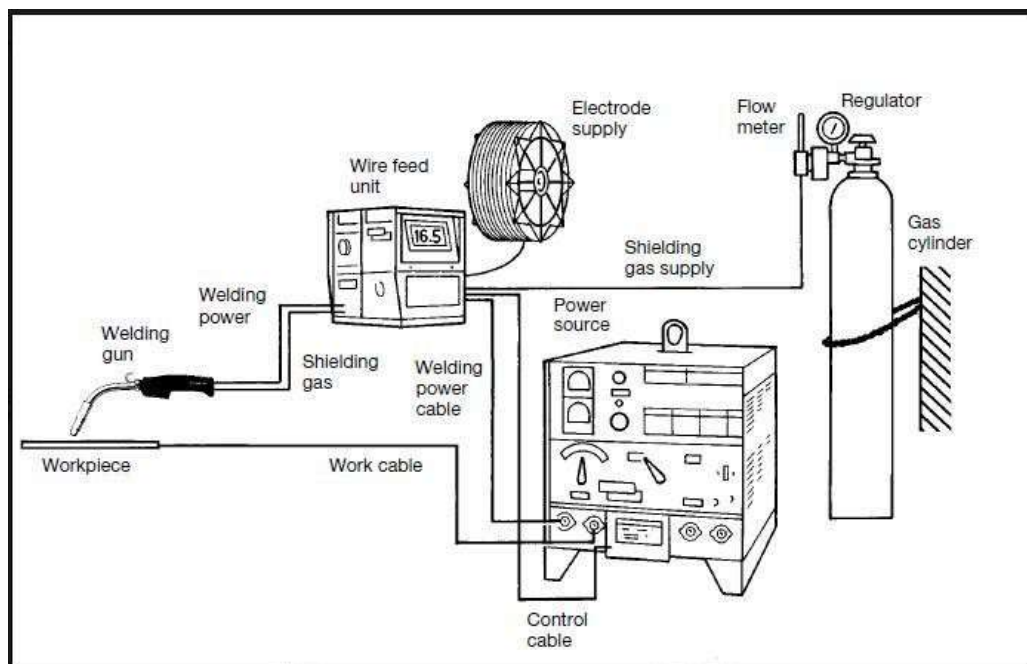
1. *GMAW (Gas Metal Arc Welding)*

Proses pengelasan ini juga disebut dengan *MIG (Metal Inert Gas)*. Proses lain yang serupa dengan *MIG* adalah *MAG (Metal Active Gas)*. Perbedaannya adalah terletak pada gas pelindung yang digunakan. Pada *MIG* digunakan gas pelindung berupa gas *Inert* seperti *Argon (Ar)* dan *Helium (He)*, sedangkan pada *MAG* digunakan gas – gas seperti $Ar + CO_2$, $Ar + O_2$ atau CO_2 . 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).

Perbedaan lain yang cukup terlihat antara *GMAW* dan *SMAW* adalah pada pemakaian jenis pelindung logam las. Pelindung yang digunakan pada *GMAW* ini berupa gas. Gas yang dimaksud bisa *Inert* atau *Active*. Penggunaan pelindung gas ini mempengaruhi hasil lasan tidak terdapat terak. Proses *GMAW* selain dipakai untuk mengelas baja tahan karat atau *stainless steel* dan mengelas logam – logam lain yang afinitasnya terhadap oksigen sangat besar seperti *Aluminium (Al)* dan *Titanium (Ti)*. Keuntungan penggunaan *GMAW* adalah :

- a. Dapat digunakan untuk berbagai jenis metal komersial.
- b. Dapat digunakan mengelas terus – menerus tanpa berhenti karena elektroda yang berupa kawat yang sangat panjang dan tergulung dalam suatu klos dipasok dengan kecepatan pemasokan yang tetap.

- c. Pengelasan dapat dilaksanakan di segala posisi.
- d. Laju pendeposisian metal lebih tinggi dari SMAW.
- e. Kecepatan las lebih tinggi dari SMAW.
- f. Hasil pengelasan relatif lebih bersih karena tidak ada *slag*-nya sebagaimana halnya SMAW.



Gambar 2.1. Spesifikasi alat GMAW.

2. Kawat Las (*Filler*)

Menurut Dadang (2013: 65) Untuk mengelas baja karbon kode yang digunakan ER70S-2, ER70S-6 dan beberapa pilihan ER70S-seri lainnya dengan angka yang berbeda di akhir. Masing – masing mewakili resep aditif kimia dalam logam pengisi untuk mengatasi kondisi tertentu dari logam (misalnya kotor atau bersih) atau jenis sendi yang dilas. Klasifikasi kawat las di atas digunakan untuk mengelas pipa berdiameter kecil dan pelat baja, maupun lajur akar (*root pass*) pada pengelasan pipa. Landasan teori ini memperkuat bahwa penelitian akan

menggunakan *filler* dengan tipe ER70S sesuai dengan bahan dari *filler* ditentukan oleh bahan induk logam las.

3. Gas Pelindung

Kegunaan gas lindung adalah mencegah jangan sampai elektroda dan cairan bahan induk teracuni oleh udara, demikian pula gas *purging* di gunakan untuk melindungi akar las dari sebelah bawah dan bahan induk di sekitar akar las. *Purging* di maksudkan untuk menyeragamkan kontur akar las, bebas dari longsor pinggir (*undercut*), dan ketinggian penguat akar las, juga mengurangi kemungkinan retak dan porositas (keropos). Argon dan helium atau campuran keduanya merupakan jenis gas lindung yang paling umum digunakan. Gas ini dapat dipasok dalam botol gas bertekanan atau berupa cairan di dalam tangki yang di isolasi dingin (Sri Widharto, 2007: 134).

a. Argon (Ar)

Argon adalah gas *inert* yang monatomik dengan berat molekul 40 yang didapatkan dengan mencairkan udara. Argon di gunakan untuk pengelasan, merupakan argon murni (minimm 99,95%) untuk metal yang tidak reaktif, namun untuk metal reaktif dan metal tahan panas, tingkat kemurniannya lebih tinggi (99,997%). Argon lebih di sukai daripada helium karena :

- 1) Nyala api pengelasan lebih halus dan tidak bersuara keras.
- 2) Mengurangi penetrasi.
- 3) Memiliki daya pembersih (misalnya dalam pengelasan *aluminium* atau *magnesium*).
- 4) Lebih murah dan lebih mudah di dapat.

- 5) Untuk perlindungan yang efektif tidak diperlukan laju pengaliran terlalu tinggi.
- 6) Lebih tahan terhadap hembusan angin.
- 7) Lebih mudah untuk menyalakan busur listrik.
- 8) Daya penetrasi yang tidak terlalu dalam di perlukan dalam pengelasan bahan tipis.

b. ***Helium (He)***

Helium adalah gas *inert* yang monoatomik dan sangat ringan, memiliki berat atom 4, di dapat dari separasi gas alam. Jika digunakan untuk pengelasan harus dimurnikan menjadi 99,99%. Gas *helium* lebih banyak menghantarkan panas daripada *argon*. Gas *helium* yang memiliki tenaga pemanas yang tinggi, *helium* banyak digunakan untuk pengelasan menggunakan tenaga mekanis.

c. **Campuran *Ar/He***

Argon mempunyai berat sekitar 10x *helium* karena berat begitu meninggalkan moncong obor *argon* akan menyelimuti jalur las panas, sedangkan *helium* karena ringan akan naik keatas menghalangi penetrasi udara kedalam lingkungan nyala las. Jadi dengan dikombinasikan kedua jenis gas ini akan menghasilkan campuran yang fungsi lindungannya sangat optimal. Perbandingan antara *argon* dan *helium* = 1 : 3 (Sri Widharto, 2007: 135).

Fungsi utama gas pelindung 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. Pada suhu tinggi *oksigen* bereaksi dengan bahan metal menjadi oksida metal.

Oksigen juga bereaksi dengan *karbon* di dalam cairan metal menjadi *CO* (*karbon monoksida*) dan *CO₂* (*Karbon dioksida*). Proses – proses ini dapat menghasilkan cacat las seperti inklusi terak (*slag*), porositas dan penggetasan (Sri Widharto, 2007: 162).

Gas pelindung ini dapat menjauhkan unsur oksigen dan nitrogen dari bahan logam yang sedang mencair atau panas. Selain fungsi tersebut, gas pelindung juga berfungsi untuk mempengaruhi sifat busur, Penetrasi dan profil jalur las, Kecepatan las, Kecenderungan untuk sisi longsor (*undercut*), Aksi pembersihan, Sifat fisis dan mekanis bahan las. Di bawah ini penjelasan masing – masing gas:

a. Helium

Gas lindung jika di gunakan sendiri tanpa dicampur dengan *argon* akan menghasilkan *voltase* busur yang lebih tinggi jika variabel lainnya dipertahankan tetap, hal ini disebabkan oleh potensi ionisasi yang lebih tinggi pula. Busur yang hanya dilindungi oleh gas *helium* saja tidak menghasilkan transfer semprot aksial yang sebenarnya pada besaran arus mana saja. Akibatnya akan terjadi percikan yang cukup banyak dan jalur las yang kasar di banding gas *argon* atau campuran *helium* dan *argon* karena stabilitas busurnya yang terbatas. Namun demikian untuk beberapa pengelasan tertentu justru diperlukan penggunaan *helium* murni agar dapat penetrasi yang dalam, jalur las yang lebar dan melengkung/ parabol. Gas *helium* murni sebagai gas lindung juga menyebabkan sulitnya penyalaan awal elektroda (Sri Widharto, 2007: 163).

b. Campuran Argon/ Helium

Campuran gas *argon* dan *helium* (80% *argon*, 20% *helium*) akan menghasilkan transfer semprot aksial apabila arus mencapai diatas nilai transisi dan penetrasi yang dalam serta jalur las yang lebar dan parabol. Argon asli digunakan sebagai pelindung untuk pengelasan bahan non logam. Pada pengelasan yang menggunakan teknik transfer arus pendek diperlukan masukan panas yang besar agar terjadi fusi yang baik, disarankan menggunakan gas lindung campuran antara argon dan helium (60% hingga 90% *helium*). Campuran *argon* dengan sedikit *helium* di perlukan untuk gas lindung pengelasan *stainless steel* dan baja paduan rendah. Campuran *helium* yang mengandung *helium* antara 50 hingga 75% dapat meningkatkan *voltase* (Sri Widharto, 2007: 164).

Tabel 2.1. Gas lindung untuk GMAW

LOGAM	GAS LINDUNG	KETEBALAN	KEUNTUNGAN
Baja Karbon	75% Ar – 25% CO ₂	< 1/8” (3,2 mm)	Kecepatan las tinggi tanpa panas lanjut, distorsi minimum, (<i>spatter</i>) percikan minimum.
	-	1/8” (3,2mm)	<i>Spatter</i> minimum, las bersih, pengendalian kolam las bagus pada vertikal dan <i>overhead</i> .
	Ar + 5 – 10% CO ₂	-	Penetrasi lebih dalam, kecepatan las lebih tinggi.

c. Tambahan sedikit O₂ dan CO₂ pada Argon atau Helium

Argon menghasilkan las yang baik untuk bahan non logam, helium menghasilkan sedikit dibawah *argon*. Namun *argon* murni untuk pengelasan baja paduan menghasilkan masalah pada busur nyala serta terjadi kecenderungan untuk sisi longsor (*undercut*). Gas lindung dengan sedikit

penambahan O_2 (1-5%), atau CO_2 (3 hingga 25%) sangat memperbaiki stabilitas busur serta bebas *undercut*. Jumlah penambahan yang optimum tergantung pada permukaan benda kerja (keberadaan oksida atau terak), ukuran sambungan, dan komposisi bahan benda kerja, pada umumnya sekitar 2% O_2 dan 8 hingga 10% CO_2 .

Penambahan jumlah CO_2 akan memperhalus bentuk jalur las. Tambahan O_2 1 hingga 9% pada campuran gas akan menambahkan pencairan kolam las, memperdalam penetrasi dan menambah kestabilan busur. Campuran gas lindung dengan oksigen menurunkan arus transisi dan mengurangi kecenderungan terjadinya sisi longsor, namun sebaliknya terjadi peningkatan proses oksidasi pada bahan las yang dapat dilihat dengan menurunnya jumlah silikon dan mangan.

Campuran *argon* dengan 5% CO_2 digunakan untuk pengelasan dengan bahan las berupa baja karbon. Campuran *argon*, CO_2 , dan *helium* sangat disukai untuk pengelasan untuk bahan baja tahan karat. Campuran *argon* 20% CO_2 , dan 3 hingga 5% O_2 merupakan gas lindung yang sangat populer karena di samping memberikan perlindungan pada kolam las dan lingkungan busur. Campuran *argon*, *helium* dan CO_2 digunakan untuk pengelasan bahan – bahan baja karbon, baja paduan rendah dan baja tahan karat.

Campuran 4 gas yang terdiri dari *argon*, *helium*, CO_2 dan O_2 sangat populer untuk pengelasan *GMAW* dengan tingkat deposisi bahan las sangat tinggi dengan menggunakan busur tipe arus densitas tinggi. Campuran tersebut menghasilkan sambungan las dengan kekuatan mekanis dan tingkat

kemampuan operasional tinggi untuk bahan – bahan paduan rendah dengan kekuatan tarik tinggi serta baja karbon dengan tingkat produktivitas las sangat tinggi (Sri Widharto, 2007: 166 – 167).

Landasan teori diatas tentang gas lindung sehingga penelitian akan menggunakan gas pelindung *argon* dalam proses *Gas Metal Arc Welding* yang sesuai bahan yang digunakan yakni baja karbon tinggi ST 60.

4. Baja Karbon Tinggi

Menurut Sonawan dan Suratman (2004: 38), baja karbon merupakan material yang masih banyak digunakan di industri konstruksi, perkapalan, otomotif, dan lain – lain. Penggunaannya yang luas maka berbagai perlakuan mungkin akan dialami oleh baja tersebut. Baja – baja yang pada pemakaiannya mengalami perlakuan seperti pengelasan harus dibuat dengan “ramuan” khusus agar dihasilkan produk lasan yang memenuhi persyaratan keamanan. Pada umumnya baja karbon dapat dilas dengan seluruh proses pengelasan baik pengelasan busur listrik, las gas, las tahanan listrik atau jenis pengelasan lainnya.

Akan tetapi kualitas yang dihasilkan dari masing – masing proses pengelasan tidak sama. Karena kualitas berbeda maka setiap proses pengelasan hanya cocok diterapkan untuk tujuan – tujuan tertentu. Baja karbon merupakan paduan besi dan karbon sebagai paduan utama dengan kandungan karbon kurang dari 1,7% dan sangat sedikit mengandung unsur – unsur lainnya. Baja karbon terdiri dari 3 jenis yaitu baja karbon rendah ($C < 0,2\%$), baja karbon medium ($0,2\% < C < 0,5\%$) dan baja karbon tinggi ($0,5\% < C < 1,7\%$).

Proses pengelasan pada baja karbon tinggi menurut Sonawan dan Suratman (2004: 41) lebih rumit jika dibandingkan dengan pengelasan pada jenis baja karbon lainnya. Kandungan karbon yang semakin tinggi lebih memungkinkan terbentuknya *martensit* di logam las dan *HAZ*. Prosedur pengelasan dengan elektroda berhidrogen rendah sangat disarankan untuk hasil yang lebih baik. *Preheat* dan temperatur interpass sekitar 400°C atau lebih tinggi dapat mencegah penggetasan di daerah logam las dan *HAZ*. *PWHT* juga disarankan untuk pelat – pelat yang tebal.

Landasan teori ini menguatkan penggunaan baja karbon tinggi bahwa bahan ini sangat baik untuk diberikan perlakuan panas sebelum atau sesudah pengelasan sehingga meningkatkan *weldability* dari baja karbon tinggi. Tingkat *weldability* dapat dilihat di Tabel 2.1. Sambungan las untuk baja karbon tinggi digunakan untuk baja pegas, die, rel kereta api, dan perkapalan maupun konstruksi.

Tabel 2.2 Karakteristik dan contoh aplikasi baja karbon (Sonawan, 2004: 41)

Material	%C	Kekerasan	Penggunaan	Weldability
Baja Karbon Rendah	<0,2	60 HRB	Pelat, lembaran, strip, elektroda las	Sangat baik
<i>Mild Steel</i>	0,2–0,3	90HRB	Baja struktur, pelat, batangan	Baik
<i>Medium Steel</i>	0,2–0,5	25HRC	Komponen mesin, perkakas	Cukup (perlu <i>preheat</i> dan <i>PWHT</i> , serta penggunaan elektroda ber-H Rendah
Baja Karbon Tinggi	0,5–1,7	40HRC	Baja pegas, die, rel	Rendah (perlu elektroda H rendah, <i>preheat</i> dan <i>PWHT</i>)

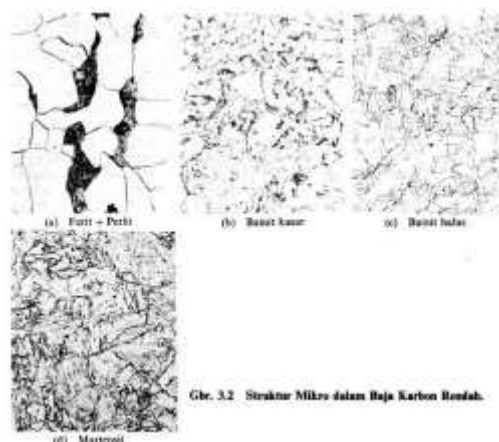
5. Struktur Mikro

Besi dan baja paling banyak dipakai sebagai bahan industri yang merupakan sumber sangat besar, dimana sebagian ditentukan oleh nilai

ekonominya, tetapi yang paling penting karena sifat – sifatnya yang bervariasi. Sifat – sifat bahan tersebut yaitu mempunyai berbagai sifat yang paling lunak dan mudah dibuat sampai yang paling keras dan tajam pun untuk pisau pemotong dapat dibuat, atau apa saja dengan bentuk apapun dapat dibuat dengan pengecoran. Dari unsur besi berbagai bentuk struktur logam dapat dibuat, itulah sebabnya mengapa besi dan baja disebut bahan yang kaya dengan sifat – sifat. Pembahasan dimulai dengan struktur mikro dari besi dan baja, dimana unsur paduan utamanya adalah karbon.

Pada umumnya struktur dari baja tergantung dari kecepatan pendinginnya dari suhu daerah *austenit* sampai ke suhu kamar karena perubahan struktur ini 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, suhu dan transformasi yang biasa disebut diagram *Continuous Cooling Transformation (CCT)* (Wiryosumarto dan Okumura, 2000: 45).

a. Karakteristik Struktur Mikro



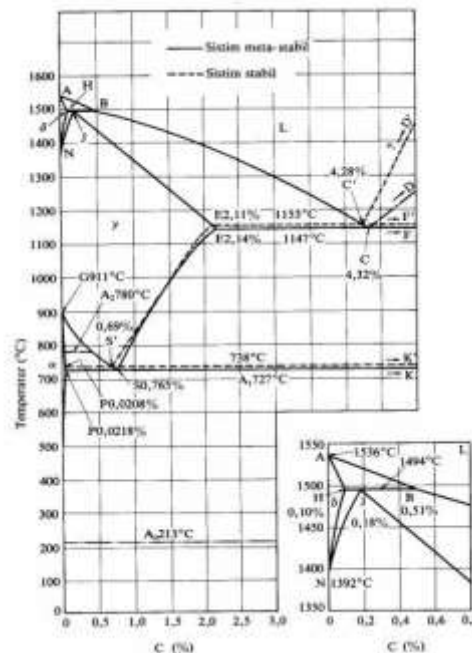
Gbr. 3.2 Struktur Mikro dalam Baja Karbon Rendah.

Gambar 2.2. Karakteristik Struktur Mikro Baja Karbon.

b. Perubahan Struktur pada Perlakuan Panas

Besi dan baja diharapkan mempunyai kekuatan statik dan dinamik, ulet, mudah diolah, tahan korosi dan mempunyai sifat elektromagnet agar dapat dipakai sebagai bahan untuk konstruksi dan mesin – mesin. Dilihat dari transformasi ada tiga macam baja yaitu:

- 1) Baja dengan titik transformasi A_1 , berupa *ferit* di bawah A_1 , dan *austenit* pada A_3 atau di atas A_1 .
- 2) Baja dengan transformasi A_1 di bawah temperatur kamar, berupa *austenit* pada temperatur kamar.
- 3) Baja dengan daerah yang kecil, berupa *ferit* sampai temperatur tinggi pada daerah komposisi tertentu.



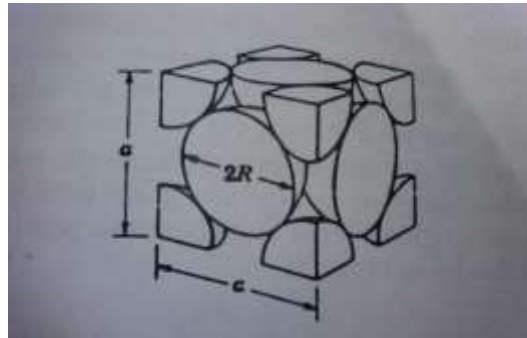
Gambar 2.3. Diagram Keseimbangan besi-karbon.

Baja yang tergolong macam a) berupa *ferit* pada temperatur kamar (dalam keseimbangan), dapat diproses menjadi berbagai struktur dengan jalan

perlakuan panas. Fasa – fasa tersebut memiliki sifat – sifat khas. *Ferit* mempunyai sel satuan kubus pusat badan atau *body centered cubic (bcc)*, menunjukkan titik mulur yang jelas dan menjadi getas pada temperatur rendah. *Austenit* mempunyai sel satuan kubus pusat muka atau *face centered cubic (fcc)* menunjukkan titik mulur yang jelas tanpa kegetasan pada keadaan dingin, tetapi apabila berupa fasa metastabil dapat berubah menjadi α' pada temperatur rendah dengan pengerjaan. *Martensit* adalah fasa larutan padat lewat jenuh dari karbon dalam sel satuan tetragonal pusat badan atau *body centered tetragonal (bct)*. Makin tinggi derajat kelewatan karbon, makin besar perbandingan satuan sumbu sel satuannya dan makin keras serta makin getas martensit tersebut. *Bainit* mempunyai sifat – sifat antara *martensit* dan *ferit*. Sesuai dengan keanekaragaman strukturnya, maka dapat diperoleh berbagai sifat baja termasuk kekuatan dan keuletan. Faktor – faktor yang menentukan sifat – sifat mekanik adalah macam fasa, kadar unsur paduan dalam fasa, banyak fasa, ukuran dan bentuk senyawa. Untuk mendapatkan sifat – sifat mekanik yang diinginkan perlu mendapat struktur yang cocok dengan komposisi kimia dan perlakuan panas yang tepat (Saito S. dan Surdia T.,1999: 71).

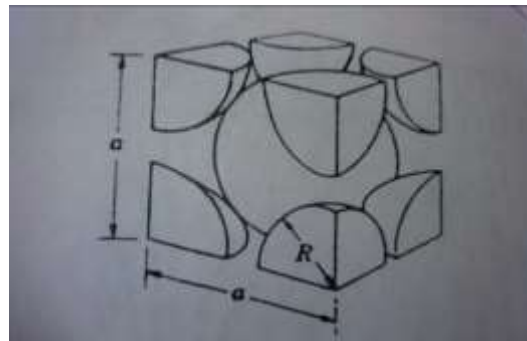
Fasa – fasa yang ada pada diagram fasa dapat dijelaskan sebagai berikut (Sonawan, 2004: 53):

- 1) *Austenit* (disimbolkan dengan γ). Fasa ini hanya mungkin ada pada baja di temperatur tinggi. *Austenit* memiliki sel satuan *fcc (face centered cubic)* yang mengandung unsur karbon maksimum hingga 1,7%.



Gambar 2.4. Sel satuan *FCC*.

- 2) *Ferrit* (disimbolkan dengan α). Fasa ini memiliki bentuk sel satuan *bcc* (*body centered cubic*) yang hanya “menampung” unsur karbon maksimum 0,025% pada temperatur 723°C.



Gambar 2.5. Sel satuan *BCC*.

- 3) Karbon. Unsur ini merupakan atom interstisi yang berukuran sangat kecil yang cenderung menyisip di antara atom – atom besi. Karbon dapat memperkuat baja dan meningkatkan kemampuan untuk dikeraskan melalui perlakuan panas (*heat treatment*). Unsur ini juga merupakan salah satu penyebab terjadinya retak pada pengelasan baja karbon, terutama bila kadarnya melebihi 0,25%. Karbon dapat membentuk senyawa karbida bila berikatan dengan unsur logam, misalnya besi-karbida dan krom-karbida.
- 4) *Sementit* (Fe_3C). Tidak seperti *ferrit* dan *austenit*, *sementit* merupakan senyawa bersifat sangat keras yang mengandung 6,67%C. *Sementit* sangat keras, tetapi bila bercampur dengan *ferit* yang lunak maka kekerasan

keduanya menurun. Campuran *ferrit* dengan *sementit* ini disebut *perlit*. Laju pendinginan lambat menghasilkan *perlit* kasar, sehingga bajanya mudah dimesin tetapi memiliki ketangguhan rendah. Laju pendinginan cepat menghasilkan *perlit* halus, bersifat keras dan tangguh.

- 5) *Perlit*. Campuran *ferrit* dan *sementit* berlapis dalam suatu struktur butir disebut dengan *perlit*. Jarak antara pelat – pelat *sementit* dalam *perlit* tergantung pada laju pendinginan baja. Laju pendinginan lebih cepat menghasilkan jarak yang cukup rapat, sedangkan laju pendinginan lambat menghasilkan jarak yang semakin jauh/kasar.

Tabel 2.3. Fasa yang ada pada baja (Saito.S dan Surdia.T., 2009:71)

	Fasa dan Simbol	Struktur	Pengelasan
Menurut Kristal	<i>Austenit</i> (γ)	<i>Fcc</i>	Paramagnetik dan stabil pada temperatur tinggi.
	<i>Ferit</i> (α)	<i>Bcc</i>	Stabil pada temperatur rendah, kelarutan padat terbatas, dapat berada bersama Fe_3C (<i>sementit</i>) atau lainnya.
	<i>Bainit</i> (α)	<i>Bcc</i>	<i>Austenit</i> metastabil didinginkan dengan laju pendinginan cepet tertentu. Terjadi hanya presipitasi Fe_3C , unsur paduan lainnya tetap larut.
	<i>Martensit</i> (α')	<i>Bct</i>	Fasa metastabil terbentuk dengan laju pendinginan cepet, semua unsur paduan masih larut dalam keadaan padat.

c. Struktur Mikro Daerah Pengaruh Panas (*HAZ*)

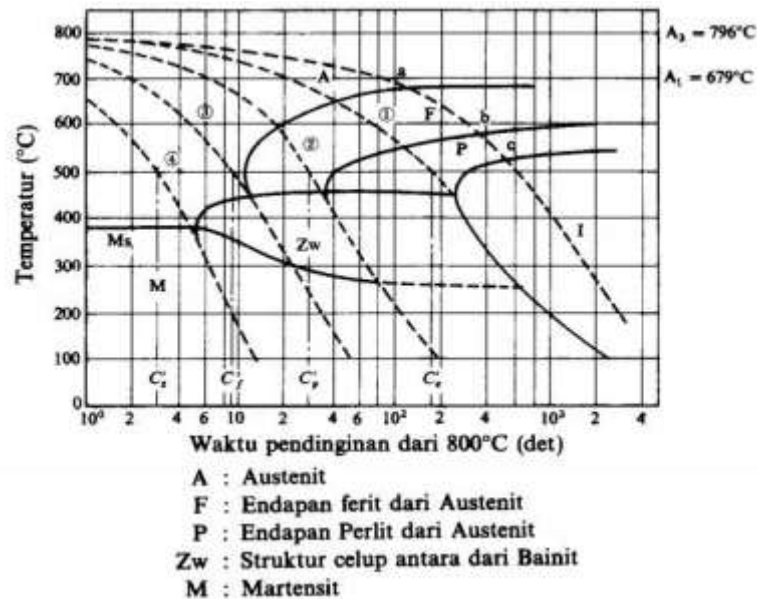
Struktur kekerasan dan berlangsungnya transformasi dari daerah *HAZ* dapat dibaca dengan segera pada diagram transformasi pendinginan berlanjut atau diagram *CCT*. Diagram semacam ini dapat digunakan untuk membahas pengaruh struktur terhadap retak las, keuletan dan lain sebagainya yang kemudian dapat dipakai untuk menentukan prosedur dan cara pengelasan. Suatu contoh dari diagram *CCT* ditunjukkan hubungan

antara suhu mula dan suhu akhir transformasi dengan lama pendinginan dari 800°C (garis tebal) sebuah baja kuat yang dipanaskan dengan cepat ke temperatur 1300°C dan kemudian didinginkan dengan bermacam – macam kecepatan pendinginan. Garis putus menunjukkan beberapa contoh siklus termal las yang dapat menunjukkan tahap – tahap transformasi selama pendinginan dan dapat dipakai untuk meramalkan struktur akhir yang akan terbentuk (Wirjosumarto dan Okumura (2000: 60).

Sebagai contoh misalnya dalam hal siklus termal las 1, bila baja telah mendingin sampai titik “a” ($\pm 680^{\circ}\text{C}$), maka *ferit* mulai di endapkan dari *austenit*. Transformasi ini berjalan terus dan baru berakhir bila titik “b” ($\pm 590^{\circ}\text{C}$) dicapai kemudian diganti dengan transformasi pengendapan perlit yang akan berakhir pada titik “c” ($\pm 520^{\circ}\text{C}$). Dari pembahasan diatas diketahui bahwa setelah pendinginan struktur yang terbentuk adalah *ferit* dan *perlit*.

Analisa yang sama dapat diketahui bahwa setelah pendinginan akan terbentuk struktur seperti berikut:

- 1) Dengan siklus termal las antara (1) dan (2) akan terbentuk *ferit*.
- 2) Dengan siklus termal las antara (2) dan (3) akan terbentuk endapan *ferit* dari *austenit*.
- 3) Dengan siklus termal las antara (3) dan (4) terbentuk endapan *perlit* dari *austenit*.
- 4) Dengan pendinginan lebih cepat dari (4) akan terbentuk *martensit*.



Gambar 2.6. Struktur Mikro Daerah Pengaruh Las.

6. Siklus Termal Daerah Lasan

Daerah lasan terdiri dari 3 bagian yaitu logam lasan, daerah pengaruh panas yang dalam bahasa inggrisnya adalah “*Heat Affected Zone*” dan disingkat menjadi daerah *HAZ* dan logam induk yang tak terpengaruhi. Logam las adalah bagian dari logam yang waktu pengelasan mencair dan kemudian membeku. Daerah pengaruh panas atau daerah *HAZ* adalah logam dasar yang bersebelahan dengan logam las yang selama proses pengelasan mengalami siklus termal pemanasan dan pendinginan cepat. Logam induk tak terpengaruhi adalah bagian logam dasar dimana panas dan suhu pengelasan tidak menyebabkan terjadinya perubahan – perubahan struktur dan sifat. Disamping ketiga pembagian utama tersebut masih ada satu daerah khusus yang membatasi antara logam las dan daerah pengaruh panas, yang disebut batas las. Dalam membahas siklus termal daerah lasan hal – hal yang perlu dibahas meliputi proses pembekuan, reaksi yang

terjadi dan struktur mikro yang terbentuk yang masing – masing akan dibahas tersendiri.

a. **Pembekuan dan Struktur Logam Las**

Dalam pengelasan bermacam – macam cacat terbentuk dalam logam las, misalnya pemisahan atau segegrasi, lubang halus dan retak. Banyak dan macamnya cacat yang terjadi tergantung dari pada kecepatan pembekuan. Semua kejadian selama proses pendinginan dalam pengelasan hampir sama dengan pendinginan dalam pengecoran (Wiryosumarto dan Okumura (2000: 56). Perbedaannya adalah:

- 1) Kecepatan pendinginan dalam las lebih tinggi.
- 2) Sumber panas dalam las bergerak terus.
- 3) Dalam proses pengelasan, pencairan dan pembekuan terjadi secara terus menerus.
- 4) Pembekuan logam las mulai dari dinding logam induk yang dapat dipersamakan dengan dinding cetakan pada pengecoran, hanya saja dalam pengelasan, logam las harus menjadi satu dengan logam induk, sedangkan dalam pengecoran yang terjadi harus sebaliknya.

Siklus termal las adalah proses pemanasan dan pendinginan di daerah lasan. Lamanya pendinginan dalam suatu daerah temperatur tertentu dari suatu siklus termal las sangat mempengaruhi kualitas sambungan karena itu banyak sekali usaha – usaha pendekatan untuk menentukan lamanya waktu pendinginan tersebut. Struktur mikro dan sifat mekanik dari daerah *HAZ* sebagian besar tergantung pada lamanya

pendinginan dari temperatur 800°C sampai 500°C. Sedangkan retak dingin, dimana *hidrogen* memegang peranan penting terjadinya sangat tergantung oleh lamanya pendinginan dari temperatur 800°C sampai 300°C atau 100°C.

7. *Preheating Treatment*

Prosedur pemanasan yang diterapkan untuk komponen logam induk segera sebelum pengelasan dimulai dan dianggap sebagai bagian penting dari operasi pengelasan. *Preheat* dapat diterapkan secara lokal ke daerah – daerah yang akan dilas atau ke seluruh bagian pengelasan. Biasanya dilakukan untuk menaikkan suhu daerah las sehingga las tidak dingin terlalu cepat setelah pengelasan. Ini untuk melindungi logam yang dilas dari berbagai efek samping yang dapat disebabkan oleh pendinginan yang cepat setelah melakukan pengelasan. Pada dasarnya *preheat* meletakkan logam induk dalam kondisi yang cocok untuk pengelasan berikutnya.

Preheat digunakan karena beberapa alasan seperti memperlambat proses pendinginan, mengurangi gaya penyusutan dan distorsi las, pencampuran logam, menghilangkan kelembaban (www.bocworldofwelding.com.au). Berdasarkan penelitian ini peneliti ingin memberikan solusi dalam upaya untuk meningkatkan sambungan las *GMAW* bahan baja karbon tinggi dengan memberikan perlakuan panas (*preheat*) maka dari itu diperlakukan penelitian apakah perlakuan panas ini memberikan solusi atau tidak. Dari tabel di bawah menunjukkan suhu yang sesuai untuk melakukan perlakuan panas pada bahan baja karbon tinggi dengan suhu

preheat antara 200°C sampai 300°C, sehingga dari landasan teori ini peneliti menentukan suhu *preheat* 125°C, 225°C dan 325°C.

Tabel 2.4. Suhu *Preheat*

Steel type	Combined Thickness (mm)	Typical Preheat (°C)
Low C and mild steels	<50	≤50
	>50	100–150
Medium C, C-Mn steels	<40	100–200
	>40	150–250
High C, C-Mn steels	All	200–300
QT steels, HSLA steels	All	None to 150 (max.)
0.5% Mo, 1% Cr-0.5% Mo steels*	All	100–250
2% Cr-1% Mo, 5% Cr-0.5% Mo steels*	All	200–300
Direct hardening steels	All	150–300
Case hardening steels	All	150
13% Manganese steel	All	None

*Preheat is usually specified by procedure and tightly monitored and controlled with these materials.

Pemanasan hanya permukaan komponen cara ini digunakan apabila suatu komponen terbuat dari baja yang secara langsung dapat dikeraskan, tetapi pengerasannya berlangsung dengan pemanasan yang amat cepat pada pemanasan intinya. Pemanasan yang hanya dilakukan pada permukaan komponen mempunyai dua macam cara yakni pengerasan busur nyala dan pengerasan induksi.

a. Pengerasan Busur Nyala

Proses ini disebut juga proses pengerasan dalam waktu yang singkat. Baja dengan kandungan karbon yang sesuai tingginya dapat dipanaskan sampai suhu pengerasan dengan busur nyala gas asetilen lalu didinginkan secara cepat untuk memperoleh permukaan yang keras. Cara

pengerasan busur nyala sesuai untuk pengerasan lapisan sampai lebih dari 0,8mm dalamnya dari lapisan permukaan. Suhu busur nyala harus diatas suhu pencairan baja agar dalam proses ini dihasilkan pemanasan yang cepat. Selain itu kemungkinan dapat terjadi bahaya pencairan setempat apabila dilakukan pengerasan lapisan yang cukup dalam. Dalam cara ini baja harus mempunyai kandungan karbon sekitar 0,4 – 0,7% yang bereaksi terhadap pengerjaan ini. Sehingga untuk memperoleh kekerasan baja tergantung pada komposisi dan kondisi dari baja (Amanto H., 1999: 91-92).

Adapun cara – cara pengerasan permukaan yang dilakukan dengan cara ini adalah sebagai berikut:

- 1) Permukaan komponen dipanaskan setempat (daerah yang akan dikeraskan) kemudian komponen didinginkan secara cepat dalam suatu tangki pendinginan yang terpisah.
- 2) Pemanasan dan pendinginan dilakukan setahap demi setahap. Busur nyala dan air pendinginan yang dipercikan bekerja terus – menerus dan permukaan melintang yang dilaluinya menjadi keras. Kecepatan gerakan unit pemanas dan pendingin diatas permukaan komponen dapat dikontrol sehingga dihasilkan kekerasan permukaan yang sesuai dengan keperluan.
- 3) Pemanasan dan pendinginan yang bertahap dapat dilakukan dengan menggunakan satu unit gabungan yang terdiri dari peralatan busur nyala dan percikan air. Peralatan yang akan dikeraskan ditempatkan

dibawahnya dan dapat bergerak dengan kecepatan 3m/detik yang digerakan ban transpor.

- 4) Komponen yang akan dikeraskan bergerak berputar mengelilingi busur nyala yang tetap (tidak bergerak) dan seterusnya dipercikan air pendinginan atau dicelupkan ke dalam air pendingin. Komponen yang berukuran panjang dapat berputar, sementara itu unit busur nyala bergerak bolak – balik paralel terhadap sumbu putarnya. Komponen dapat dikerjakan dengan cara ini, yang kedudukannya harus simetris terhadap perputaran sumbu. Setelah dilakukan pengerasan busur nyala, biasanya baja yang telah dikeraskan dilakukan penyepuhan dan apabila diperlukan hal itu dapat dilakukan dengan pemanasan busur nyala.

b. **Pengerasan Induksi**

Pengerasan induksi termasuk suatu cara pengerasan permukaan. Komponen yang akan dikeraskan ditempatkan didalam suatu gulungan (koil) induktor dan kemudian dimasukan arus listrik frekuensi tinggi. Dapur yang digunakan hampir sama dengan dapur untuk menghasilkan baja paduan. Tetapi dapur ini dilengkapi dengan suatu silinder air berlubang yang bersatu dengan kumparan dan berfungsi sebagai unit pendingin. Permukaan komponen yang akan dikeraskan, dipanaskan mencapai suhu pengerasan yang berlangsung sangat cepat. Selanjutnya, didinginkan dengan cepat sewaktu komponen masih tetap didalam kumparan. Pengerasan lapisan yang tebalnya mencapai 3mm dilakukan

dengan cara pemanasan hingga mencapai suhu pengerasan. Cara tersebut dapat dilakukan dengan pengerjaan setempat (lokal).

Proses pengerasan induksi lebih sesuai untuk baja dengan kandungan karbon sekitar 0,45%. Dalam cara ini suhu yang dihasilkan dapat dikontrol dengan pengaturan kumparannya, yaitu dengan mengatur jarak antara kumparan dengan permukaan komponen yang akan dikeraskan (Amanto H., 1999: 93).

Landasan teori tentang *preheat* dan cara melakukan *preheat* dapat disimpulkan bahwa baja karbon dengan karbon disekitar 0,45% - 0,7% baik dilakukan *preheat* supaya meningkatkan kemampuan las baja karbon tinggi.

8. Pengujian Tarik

Menurut Salindeho, dkk: 3. Uji tarik adalah pemberian gaya atau tegangan tarik kepada material dengan maksud untuk mengetahui atau mendeteksi kekuatan dari suatu material. Tegangan tarik yang digunakan adalah tegangan aktual eksternal atau perpanjangan sumbu benda uji. Uji tarik dilakukan dengan cara penarikan uji dengan gaya tarik secara terus menerus, sehingga bahan perpanjangannya terus menerus meningkat dan teratur sampai putus, dengan tujuan menentukan nilai tarik. Untuk mengetahui kekuatan tarik suatu bahan dalam pembebanan tarik, garis gaya harus berhimpit dengan garis sumbu bahan sehingga pembebanan terjadi beban tarik lurus. Tetapi jika gaya tarik sudut berhimpit maka terjadi adalah gaya lentur.

Pada saat bersamaan benda uji akan bertambah panjang dengan bertambah gaya yang diberikan. Berdasarkan hasil pengujian tarik berupa data gaya dan perpanjangan, maka dianalisis untuk menentukan tegangan, regangan dan tegangan luluh yaitu persamaan:

a. Tegangan

Tegangan yang didapat dari kurva tegangan teoritik adalah tegangan yang membujur rata – rata dari pengujian tarik. Tegangan tersebut diperoleh dengan cara membagi beban dengan luasan awal penampang lintang benda uji tersebut (wiryo sumarto, 2000: 181).

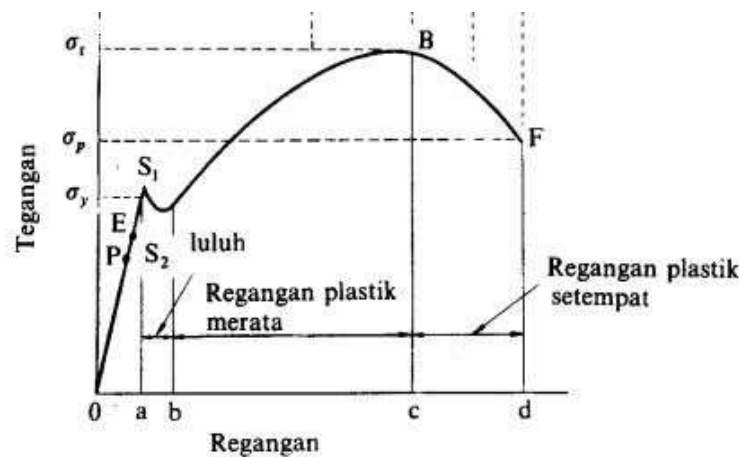
$$\sigma = \frac{P}{A_0} \dots\dots\dots(2.1)$$

keterangan :

σ = Nilai Tegangan (kg/mm^2)

P = Beban yang diberikan pada benda uji (kg)

A_0 = Luas penampang awal benda uji (mm^2)



Gambar 2.7. grafik tegangan tarik.

b. Regangan (*Elongation*)

Regangan yang didapatkan adalah regangan linier rata – rata, yang diperoleh dengan cara membagi perpanjangan (*gage length*) benda uji, dengan panjang awal.

$$\varepsilon = \frac{L_1 - L_0}{L_0} \times 100\% \dots \dots \dots (2.2)$$

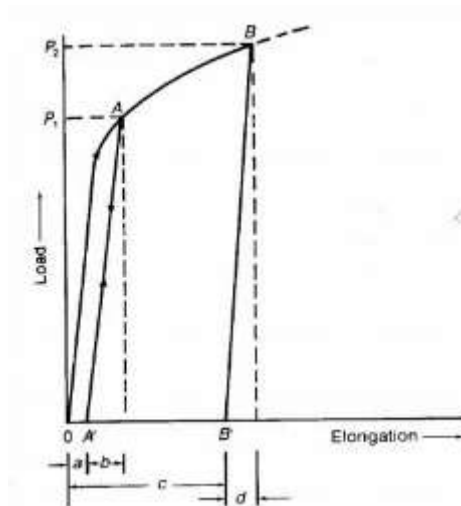
Keterangan

ε = nilai regangan (%)

L_0 = Panjang mula – mula (mm)

L_1 = Panjang Akhir (mm)

Jika terus menarik suatu benda uji sampai putus, akan mendapatkan profil tarikan yang lengkap yang berupa kurva. Kurva ini menunjukkan hubungan antara gaya tarik dengan perubahan panjang.



Gambar 2.8. grafik regangan.

c. **Kekuatan Tarik maksimum (*Ultimate tensile strength*)**

Kekuatan tarik adalah besarnya beban maksimum dibagi dengan luas penampang lintang awal benda uji.

$$\sigma_u = P_{\text{maks}} / A_0 \dots\dots\dots(2.3)$$

Keterangan :

σ_u = Tegangan maksimum (kg/mm²)

P = Beban yang diberikan pada benda uji (kg)

A_0 = Luas penampang awal benda uji (mm²)

d. **Tegangan Luluh**

Menurut Dieter (1988: 278-279) Tegangan Luluh adalah tekanan yang ditentukan untuk menentukan plastik deformasi dalam jumlah yang kecil. Definisi ini biasanya disebut tegangan luluh *offset* diperoleh dari beban yang didapat sebelum beban maksimum, dapat dilihat pada Gambar 2.6. ditunjukkan luluh pada posisi a-b. Di Amerika Serikat offset yang digunakan yakni 0,2% atau 0,1%.

$$\sigma_y = \frac{P_{(\text{strain offset}=0,2\%)}}{A_0} \dots\dots\dots(2.4)$$

Keterangan :

σ_y = Nilai tegangan luluh

P = Beban yang diberikan pada benda uji (kg)

A_0 = Luas penampang awal benda uji (mm²)

B. Kajian Penelitian yang Relevan

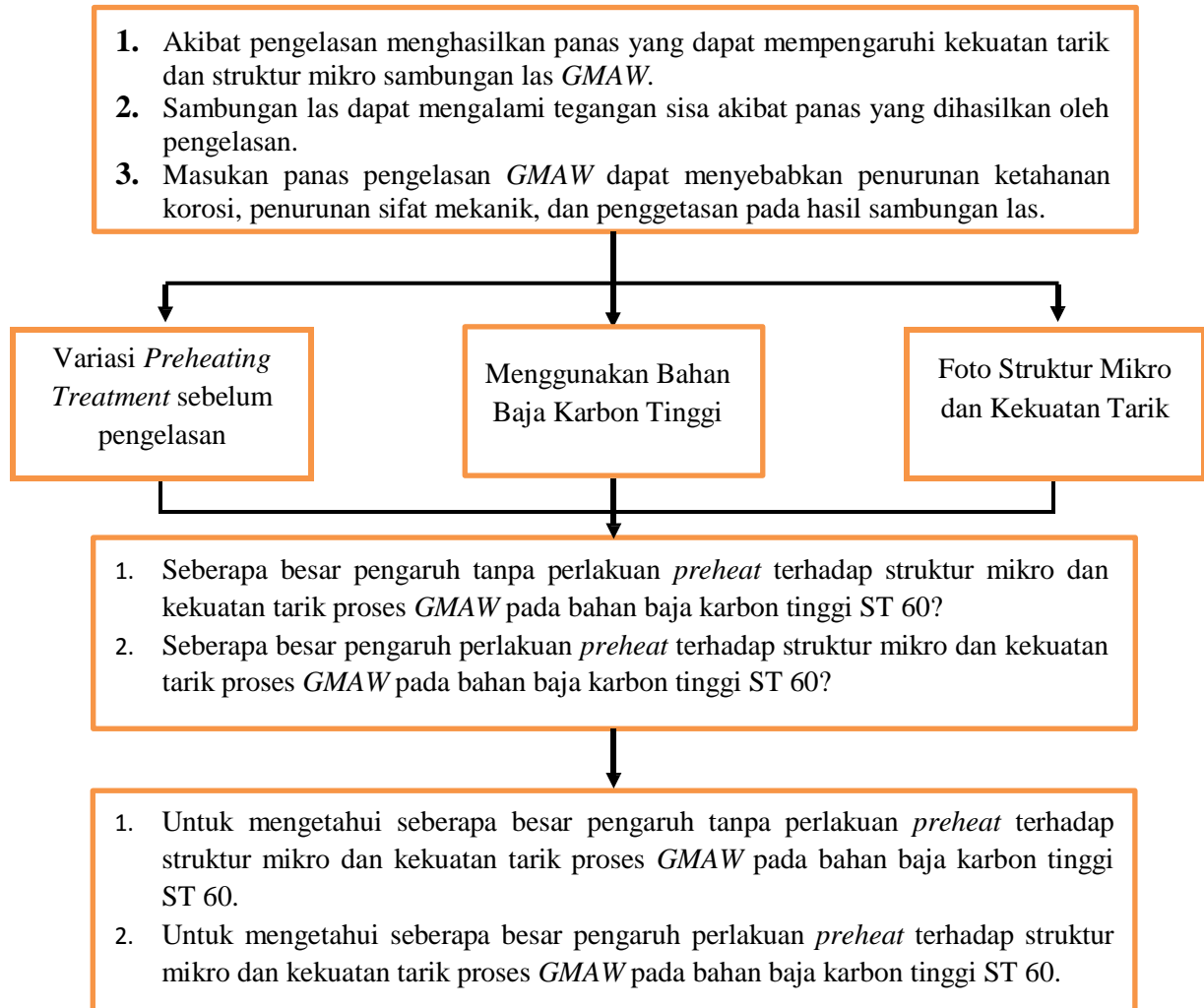
Yunaidi (2014) dengan judul *Pengaruh Preheat dan Static – Transient Thermal Tensioning terhadap Laju Perambatan Retak Fatik pada Sambungan Las TIG AL 6061-T6* menyatakan bahwa proses *preheat*, *static thermal tensioning (STT)*, dan *transient thermal tensioning (TTT)* dapat mengubah ukuran dan bentuk butiran pada daerah las dan daerah *HAZ*. Metode *preheat*, *STT*, dan *TTT* dapat meningkatkan umur fatik dan ketahanan laju retak fatik. Uji *SEM* pada hasil uji fatik menunjukkan terjadinya patah getas serta terdapat pola garis pantai dan *striation* yang merupakan ciri khas retak fatik. Kekurangan dari penelitian ini yaitu kurangnya penggunaan variasi kuat arus yang sangat mempengaruhi kegetasan suatu sambungan las. Sehingga variabel kuat arus dimasukkan dalam penelitian ini.

Aji dan Wijoyo (2015) dengan judul *Kajian Kekerasan dan Struktur Mikro Sambungan Las GMAW Baja Karbon Tinggi dengan Variasi Masukan Arus Listrik* menyatakan bahwa pengujian sifat fisis dan mekanis sambungan las menarik kesimpulan peningkatan arus listrik pada pengelasan dapat menurunkan kekerasan hasil las. Pengaruh arus listrik ini jika semakin tinggi arus listrik yang digunakan dalam pengelasan baja karbon tinggi sampai 120 A akan menurunkan jumlah dan ukuran endapan, yang memiliki sifat keras. Variasi arus yang digunakan peneliti sangat mungkin mempengaruhi struktur mikro dan sifat keras dari hasil lasan tersebut. Kekurangan dari penelitian ini kurangnya variabel yang digunakan sehingga untuk menentukan hasil kualitas kurang baik, diperlukan variabel lain selain arus listrik.

Saifudin dan Noer Ilman dengan judul *Pengaruh Preheat Terhadap Struktur Mikro dan Kekuatan Tarik Las Logam Tak Sejenis Baja Tahan Karat Austenitik AISI 304 dan Baja Karbon J4* menyatakan dalam pengujian – pengujian yang dilakukan dalam penelitian ini menyimpulkan dengan perlakuan *preheat* akan menurunkan nilai kekerasan pada *HAZ* baja karbon dibandingkan dengan *HAZ* baja karbon tanpa perlakuan *preheat*, sehingga mampu menaikkan ketangguhannya. Sebaliknya perlakuan *preheat* akan menaikkan nilai kekerasan pada *HAZ* baja tahan karat dibandingkan dengan *HAZ* baja tahan karat tanpa *preheat*, hal ini disebabkan adanya endapan karbida krom diantara batas butir asutenit. Perlakuan ini meningkatkan sifat mekanik dari sambungan las berupa kekuatan tarik dan kekuatan luluh.

Ahmad Khalid (2016) dengan judul *Pengaruh Perlakuan Panas Diawal dan Akhir Terhadap Sifat Fisis dan Mekanis pada Pengelasan Baja Karbon Sedang* menyatakan bahwa perlakuan panas pengelasan dengan suhu awal 400°C dan suhu akhir 550°C, memiliki peningkatan uji tarik, karena pengelasan yang sempurna padat membuat alur dan tidak ada rongga – rongga udara. Semakin uletnya suatu bahan berarti lebih banyak energi yang diserap sampai bahan tersebut patah.

C. Kerangka Pikir Penelitian



Gambar 2.9. Kerangka Pikir Penelitian.

BAB III

METODE PENELITIAN

Metode penelitian adalah suatu cara yang digunakan dalam penelitian, sehingga pelaksanaan dan hasil penelitian bisa untuk dipertanggung jawabkan secara ilmiah. Penelitian ini menggunakan penelitian eksperimen. Penelitian eksperimen adalah penelitian yang bertujuan untuk mengidentifikasi hubungan sebab akibat dari satu atau lebih variabel terikat dengan melakukan manipulasi variabel bebas pada suatu keadaan yang terkendali (variabel kontrol).

A. Variabel Penelitian

1. Variabel independen

Variabel – variabel ini sering disebut dengan variabel stimulus, dalam bahasa indonesia sering disebut sebagai variabel bebas. Variabel bebas merupakan variabel yang mempengaruhi atau yang menjadi sebab perubahannya atau timbul variabel terikat. Dalam penelitian ini variabel bebasnya adalah variasi suhu *preheating treatment*.

2. Variabel dependen

Variabel ini sering disebut sebagai variabel *output*, konsekuen dalam bahasa indonesia sering disebut sebagai variabel terikat. Variabel terikat merupakan variabel yang dipengaruhi atau yang menjadi akibat, karena adanya variabel bebas. Variabel terikat dalam penelitian ini adalah foto mikro dan kekuatan tarik.

3. Variabel Kontrol

Variabel yang dikendalikan atau dibuat konstan sehingga pengaruh variabel independen terhadap dependen tidak dipengaruhi oleh faktor luar yang tidak diteliti. Dalam penelitian ini variabel kontrolnya adalah menggunakan las *GMAW*, bahan *ST60*, *filler* yang digunakan *ER70S*, menggunakan kampuh V tunggal 60°, spesimen pengujian tarik dengan standar *JIS Z 2201 No.6*, arus las *GMAW* yang digunakan 160A, arus *DC(-)* polaritas lurus, tegangan yang digunakan 25 Volt, gas pelindung *Argon UHP*, variasi suhu *preheating treatment*-nya 125°C, 225°C, dan 325°C.

B. Alat dan Bahan Penelitian

1. Alat Penelitian

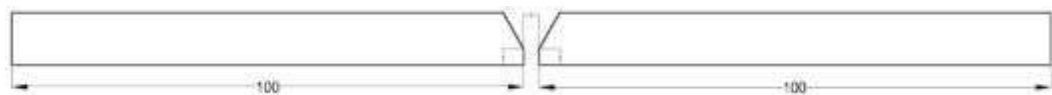
- | | |
|---|-------------------------|
| a. Perlengkapan K3 | g. Penggaris |
| b. Mesin Gergaji beserta kelengkapannya | h. Mesin amplas |
| c. Mesin sekrap | i. Kikir |
| d. Mesin frais | j. Mesin uji foto mikro |
| e. Peralatan Pengelasan | k. Mesin uji tarik |
| f. Mesin Las <i>GMAW</i> | l. Mesin <i>brander</i> |
| | m. <i>Thermocouple</i> |

2. Bahan / spesimen penelitian

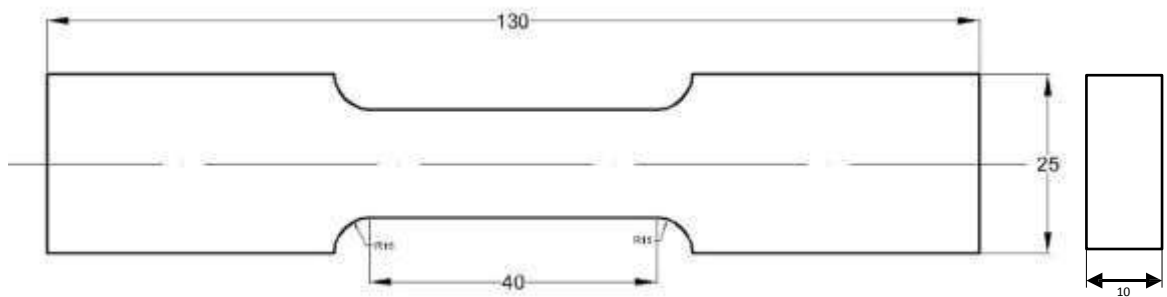
- a. Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah baja karbon tinggi *ST60* dengan dimensi ukuran 250mm x 120mm x 10mm. Standar spesimen yang digunakan *JIS z 2201 No.6*.



Gambar 3.1. Bahan Baja Karbon Tinggi ST60.



Gambar 3.2. Kampus Sudut 60°



Gambar 3.3. Standar Spesimen JIS Z2201 No.6.

- b. Elektroda yang digunakan jenis ER70S-2.

Tabel 3.1. Komposisi kimia *filler* (kawat las)

Klasifikasi	C	Komposisi Kimia kawat las (<i>filler</i>) (%)				
		Si	Mn	P	S	Lainnya
ER70S-2	≤ 0,06	0,40–0,70	0,9–1,4	≤ 0,025	≤ 0,035	Ti 0,05–0,1 Zr 0,02–0,12 Al 0,05–0,15

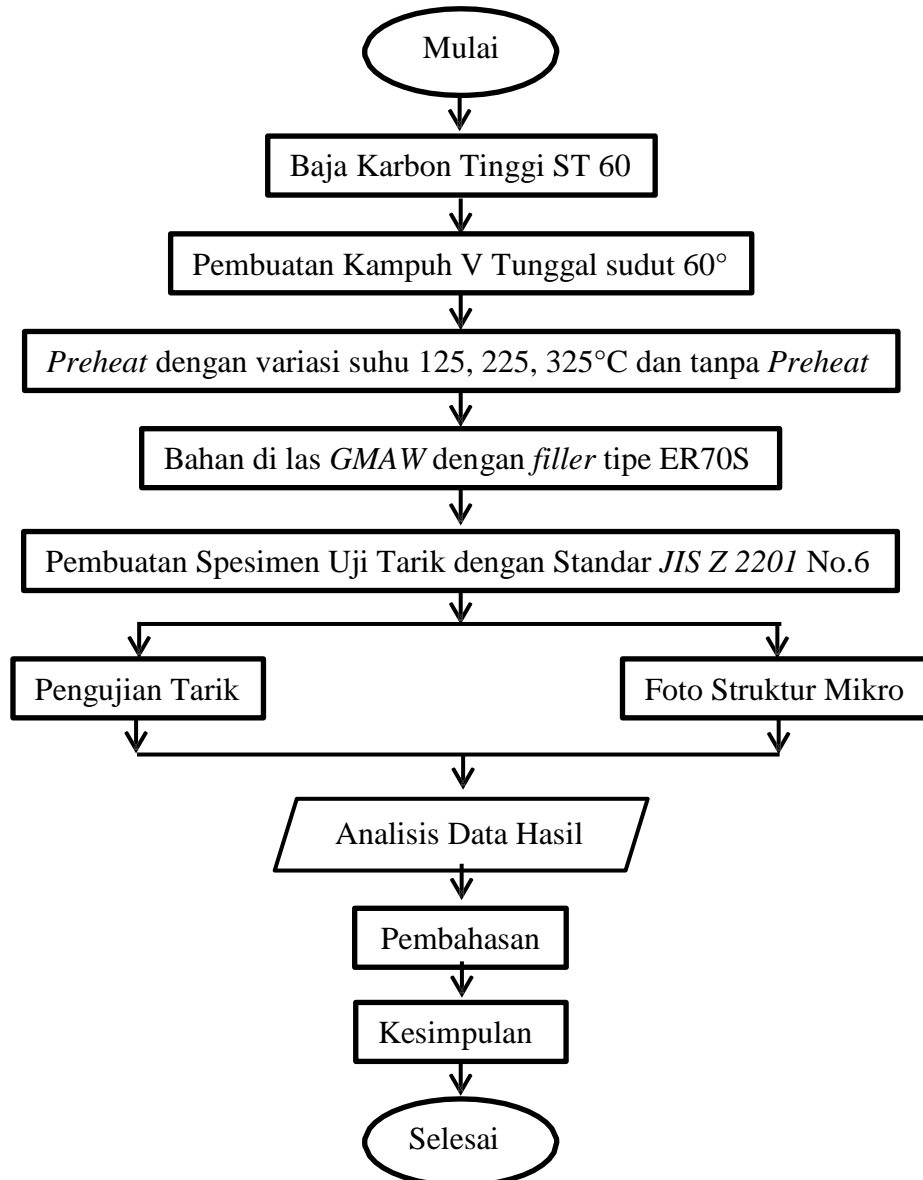
C. Prosedur Penelitian

1. Waktu dan tempat pelaksanaan

- a. Proses pembuatan kampus V tunggal sudut 60° dilakukan di Balai Besar Pengembangan Latihan Kerja Semarang.

- b. Proses pengelasan dilakukan di Balai Besar Pengembangan Latihan Kerja Semarang.
- c. Pembuatan spesimen benda uji dilakukan di Balai Besar Pengembangan Latihan Kerja Semarang.
- d. Pengujian Tarik dilakukan di Laboratorium Teknik Mesin S1 Universitas Gajah Mada Yogyakarta.
- e. Pengujian foto struktur mikro dilakukan di laboratorium bahan Teknik Mesin Universitas Negeri Semarang.

2. Diagram Alir Pelaksanaan Penelitian



Gambar 3.4. Diagram Alir Penelitian.

3. Proses Penelitian

Proses penelitian dilakukan dengan beberapa tahap diantaranya sebagai berikut:

a. Persiapan Alat dan Bahan

Mempersiapkan bahan yang akan diperlukan seperti:

- 1) Baja Karbon Tinggi dengan tipe ST60 dengan ukuran dimensi 250mm x 120mm x 10mm.
- 2) Elektroda tipe ER70S
- 3) Gas *Argon UHP*
- 4) Mesin Las *GMAW*
- 5) Mesin *brander*
- 6) *Thermocouple* untuk mengukur suhu *preheating treatment*

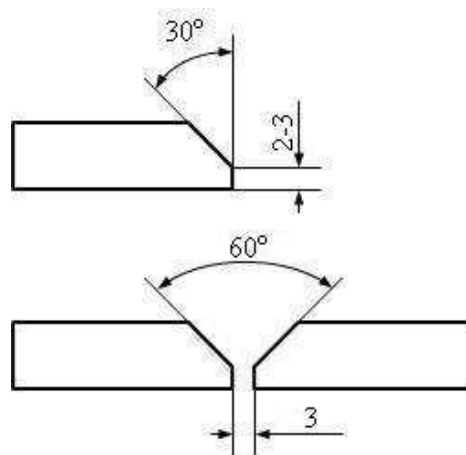
b. Proses Pembuatan Kampuh

- 1) Siapkan baja karbon yang sudah dipotong dengan ukuran 250mm x 120mm x 10mm.
- 2) Lakukan siap mesin sekrap untuk pembuatan kampuh.
- 3) Letakan bahan di mesin sekrap, *setting* mesin sekrap dengan sudut 30°.



Gambar 3.5. Proses pembuatan kampuh

- 4) Nyalakan mesin sekrup lalu gunakan otomatis untuk menggerakkan sekrup.
- 5) Bentuk kampuh tunggal V sudut 60° .



Gambar 3.6. Ukuran kampuh V tunggal sudut 60°

c. Proses *Preheating Treatment*

- 1) Siapkan baja karbon tinggi ST60 dengan ukuran awal sebelum pembuatan spesimen yang sudah di kampuh.
- 2) Siapkan mesin *brander* dan *thermocouple*.



Gambar 3.7. persiapan proses *preheating treatment*

- 3) Nyalakan mesin *brander* dan *thermocouple*, lalu panaskan spesimen dengan mesin *brander* sampai suhu variasi *preheating treatment* sebesar 125°C, 225°C, 325°C.
- 4) Setelah dipanasi sampai suhu yang diinginkan langsung spesimen disiapkan untuk proses pengelasan.

d. Proses Pengelasan GMAW

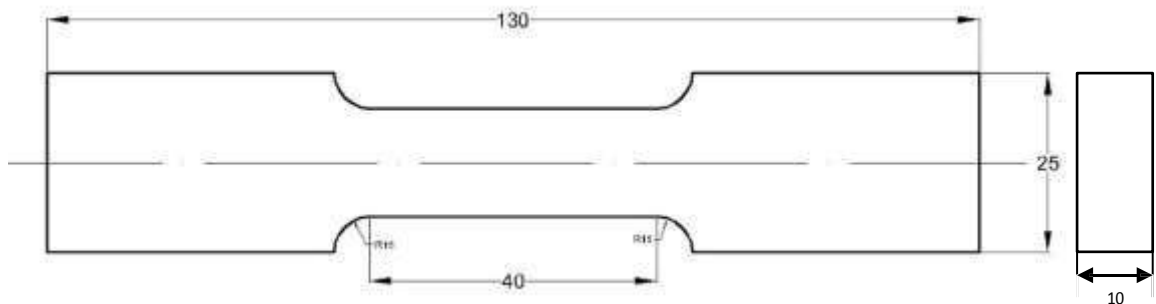
- 1) Las bahan Baja Karbon Tinggi ST60 dengan gerakan pengelasan melingkar (*spiral*) perlakuan *preheating treatment* 125°C, 225°C, 325°C, dan tanpa perlakuan.



Gambar 3.8. Hasil pengelasan

e. Pembuatan Spesimen Uji Tarik (*Tensile Strength*)

- 1) Standar yang digunakan untuk pengujian tarik yaitu *JIS Z 2202* No.6



Gambar 3.9. Standar spesimen *JIS Z2201* No.6.

- 2) Pembuatan spesimen dengan tanpa perlakuan, 125, 225, 325°C
sebanyak masing – masing 3 buah.



Gambar 4.0. Proses pemotongan untuk membuat spesimen

Tabel 3.2. Jumlah Spesimen Pengujian

Pengujian	Variasi Suhu <i>Preheating Treatment</i>				Jumlah
	Tanpa <i>Preheat</i>	125°C	225°C	325°C	
Uji Tarik (<i>Tensile Strength</i>)	3	3	3	3	12
Uji foto mikro	3	3	3	3	12
	Jumlah T				24

f. Pengujian Kekuatan Tarik (*Tensile Strength Test*)

Proses pengujian tarik dilakukan di Laboratorium Metalurgi Teknik Mesin S1 Universitas Gajah Mada Yogyakarta. Prosedur dan pembacaan hasil pada pengujian tarik adalah sebagai berikut:

- 1) benda uji dijepit pada ragum alat uji tarik, setelah sebelumnya diketahui penampangnya, panjang awalnya dan ketebalannya.
- 2) Siapkan kertas milimeter *block* dan letakan kertas tersebut pada *platter*
- 3) Hidupkan mesin uji tarik benda uji tarik mulai mendapatkan beban tarik dengan menggunakan tenaga hidrolik diawali 0 Kg hingga benda putus pada beban maksimum yang dapat ditahan benda tersebut.

- 4) Benda uji yang sudah putus lalu diukur berapa besar penampang dan panjang benda uji setelah putus.
- 5) Gaya atau beban yang maksimum ditandai dengan putusnya benda uji terdapat pada layar digital dan dicatat sebagai data.
- 6) Hasil diagram terdapat pada kertas milimeter *block* yang ada pada meja *platter*.

g. Uji Struktur Mikro

Persiapan bahan untuk foto mikro berupa:

- 1) Spesimen uji foto mikro yang dipotong dengan ukuran 70mm dan dipotong pas didaerah lasan.
- 2) Resin dan katalis untuk proses *mounting* atau spesimen uji foto mikro dicetak dengan resin agar mudah untuk dipegang pada saat proses pengampelasan
- 3) Siapkan ampelas dengan nomor 240, 400, 800, 1000, 1500, 2000, kalau diperlukan nomor 5000 disiapkan juga.
- 4) Siapkan alat ampelas spesimen uji foto mikro.
- 5) *Autosol* untuk mengkilapkan spesimen uji.
- 6) Siap bahan etsa untuk baja karbon tinggi yaitu *Alcohol* 70% dan *HNO₃*.

Proses Uji Foto Struktur Mikro

- 1) Ampelas spesimen dengan ampelas nomor terkecil sampai terbesar untuk menghilangkan goresan – goresan bekas pembuatan spesimen uji tarik.

- 2) Ampelas sampai tidak ada goresan atau cukup mulus dengan ampelas nomor paling besar, terakhir gunakan *autosol* untuk menghilangkan karat – karat bekas proses pengamplasan.
- 3) Setelah mendapatkan permukaan yang mengkilap siapkan bahan etsa sebelum menggunakan mikroskop foto mikro.
- 4) Siapkan bahan etsa berupa *alcohol* 70% dan HNO_3 , campuran cairan *alcohol* dan HNO_3 dengan perbandingan *Alcohol* 10ml dan HNO_3 sebanyak 6 tetes pipet, Hati – hati alangkah baiknya gunakan sarung tangan karet untuk jaga – jaga agar tidak terkena cairan HNO_3 karena sangat keras bisa melepuh.
- 5) Setelah di campur antara *alcohol* dan HNO_3 siapkan spesimen yang tadi sudah diampelas.
- 6) Teteskan cairan etsa ke permukaan spesimen yang sudah diampelas lalu diamkan 1-3 detik saja. Jangan terlalu lama, lalu basuh cairan dengan *alcohol* pada permukaan yang diberi cairan etsa.
- 7) Permukaan yang terkena cairan etsa akan mengalami korosif sehingga mengalami perubahan warna menjadi tidak mengkilap lagi.
- 8) Spesimen uji foto mikro siap dilakukan pengambilan gambar dengan mikroskop foto mikro yang ada di Laboratorium Bahan Teknik Mesin Universitas Negeri Semarang.

4. Data Penelitian

Metode pengumpulan data merupakan cara – cara yang dapat digunakan oleh peneliti untuk mengumpulkan data. Dalam penelitian ini metode

pengumpulan data adalah dengan metode dokumentasi, observasi, dan penelitian eksperimen secara langsung. Data yang terkumpul akan digunakan sebagai bahan analisa yang ditetapkan. Pengambilan data yang dilakukan dalam penelitian ini yaitu dengan meneliti seberapa besar kekuatan tarik sambungan las *GMAW* bahan Baja Karbon Tinggi ST60 dengan perlakuan *Preheat* variasi suhu 125, 225, dan 325°C sebagai pembanding tanpa perlakuan.

5. Analisis Data

Hasil pengujian yang diperoleh, dilakukan analisis data menggunakan metode penyelidikan deskriptif. Menurut Sugiyono 2011: 147 Metode penyelidikan deskriptif adalah menuturkan dan menafsirkan data yang ada atau menggambarkan data yang telah terkumpul sebagaimana adanya tanpa bermaksud membuat kesimpulan yang berlaku untuk umum atau generalisasi. Data yang diperoleh dari hasil pengujian dimasukkan ke dalam tabel, dan ditampilkan dalam bentuk grafik dan kemudian dianalisis.

6. Lembar Penelitian

Tabel 3.3. Lembar penelitian

Variasi Suhu	Spesimen	P Max (kg/mm ²)	ε (%)
<i>RAW</i>	Spesimen 1		
	Spesimen 2		
	Spesimen 3		
125°C	Spesimen 1		
	Spesimen 2		
	Spesimen 3		
225°C	Spesimen 1		
	Spesimen 2		
	Spesimen 3		
325°C	Spesimen 1		
	Spesimen 2		
	Spesimen 3		

BAB IV

HASIL PENELITIAN

A. Hasil Penelitian

Penelitian ini menghasilkan data – data yang berupa angka dalam tabel dan grafik yang meliputi komposisi bahan, pengamatan foto mikro dan pengujian tarik pada material baja karbon tinggi

1. Komposisi Bahan

Adapaun komposisi bahan yang ada didapat dari sertifikat dari toko yang menjual bahan sudah ada komposisi. Kandungan unsur lengkapnya dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1. komposisi kimia baja ST60

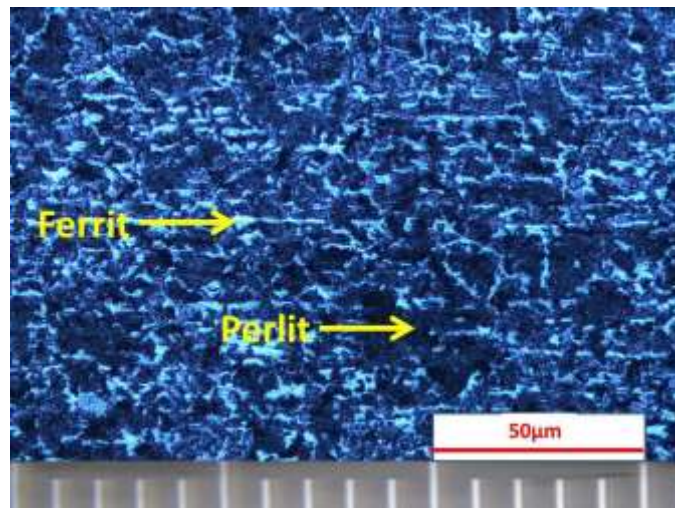
No	Nama Unsur	Simbol	komposisi (%)
1	<i>Carbon</i>	<i>C</i>	0,52
2	<i>Silikon</i>	<i>Si</i>	0,31
3	<i>Mangan</i>	<i>Mn</i>	0,65
4	<i>Fosfor</i>	<i>P</i>	0,19
5	<i>Sulfur</i>	<i>S</i>	0,02
6	<i>Cupper</i>	<i>Cu</i>	0,01

2. Hasil Foto Mikro

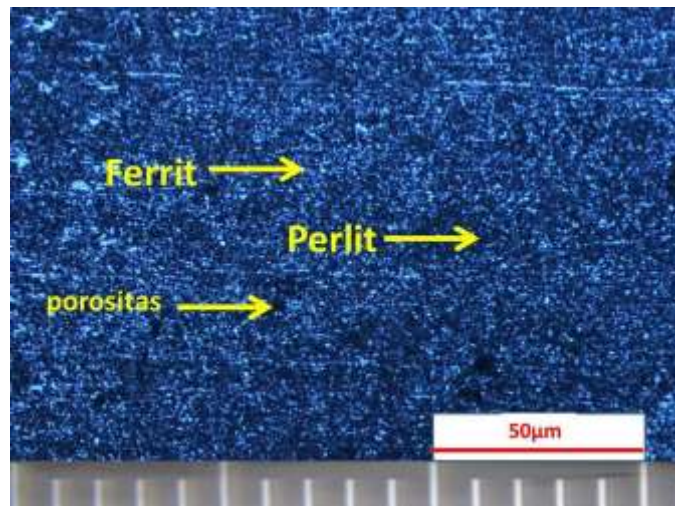
Pengamatan foto mikro dilakukan pada spesimen *raw material* (tanpa perlakuan) dan *preheating treatment* suhu 125, 225, 325°C pengambilan foto mikro pada titik *base metal* (logam induk), *HAZ* (*Heat Affect Zone*), sambungan las, lalu titik yang memperlihatkan daerah *HAZ* dan sambung las. Perbesaran foto

mikro yang digunakan berbeda – beda untuk melihat jelas struktur mikro yang ada pada titik *base metal*, *HAZ*, dan sambungan las menggunakan perbesaran 200X.

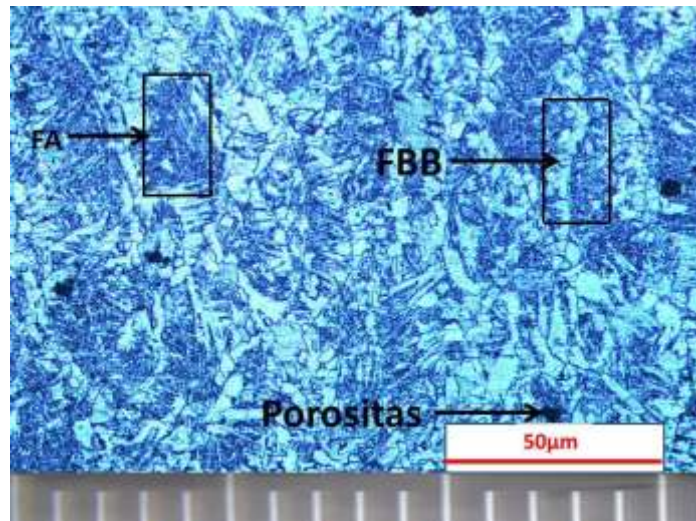
a. *RAW Material*



Gambar 4.1. Struktur mikro daerah *base metal* spesimen *RAW* dengan perbesaran 200X

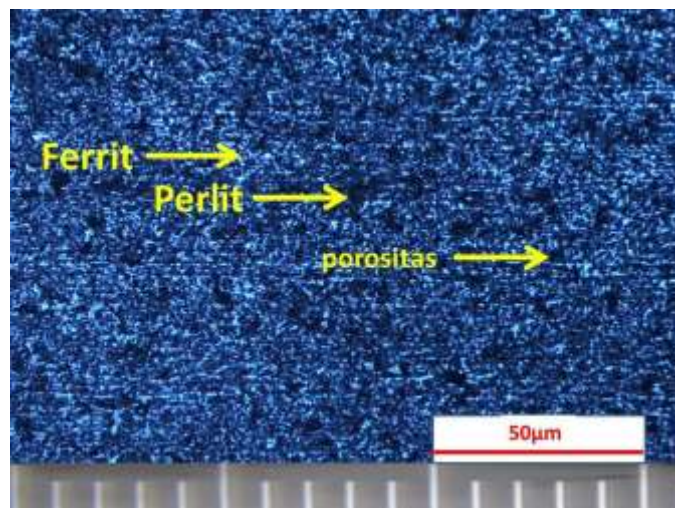


Gambar 4.2. Struktur mikro daerah *HAZ* spesimen *RAW* dengan perbesaran 200X

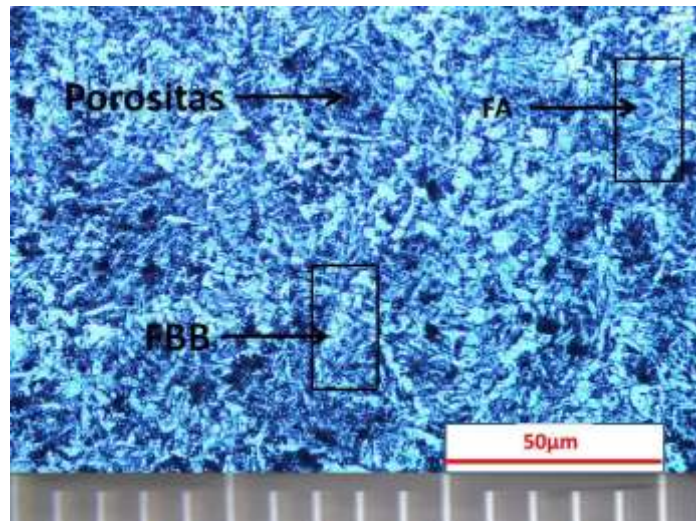


Gambar 4.3. Struktur Mikro daerah las spesimen RAW dengan perbesaran 200X

b. *Preheating Treatment* suhu 125°C

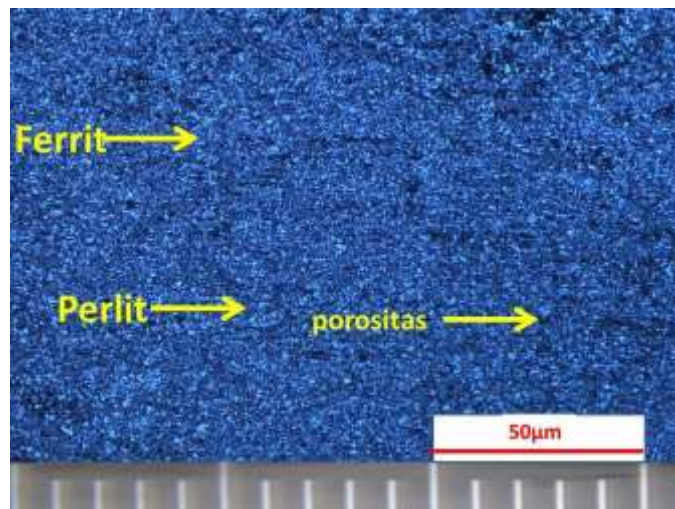


Gambar 4.4. Struktur mikro daerah HAZ dengan dengan *preheating treatment* 125°C perbesaran 200X

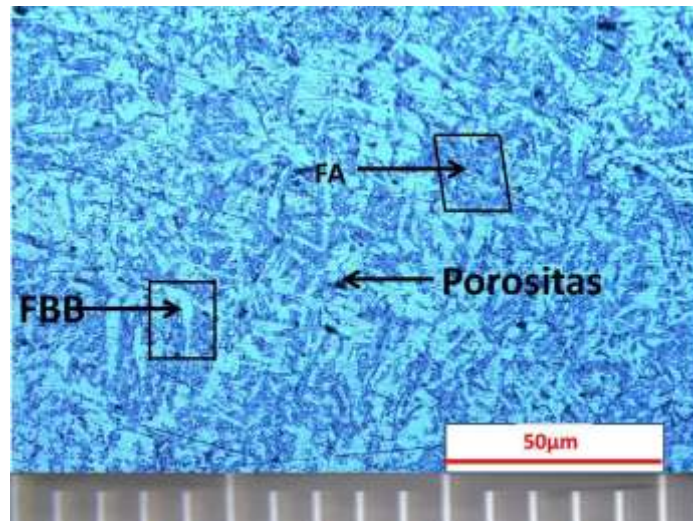


Gambar 4.5. Struktur mikro daerah las dengan *preheating treatment* 125°C perbesaran 200X

c. *Preheating Treatment* suhu 225°C

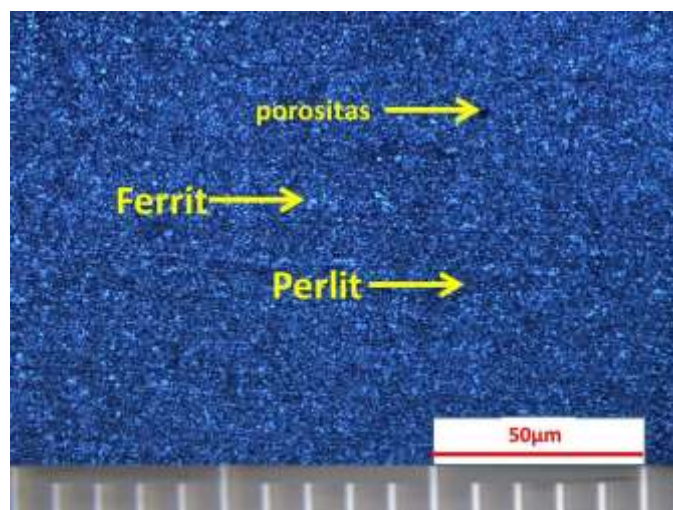


Gambar 4.6. Struktur mikro daerah *HAZ* spesimen dengan *preheating treatment* 225°C dengan perbesaran 200X

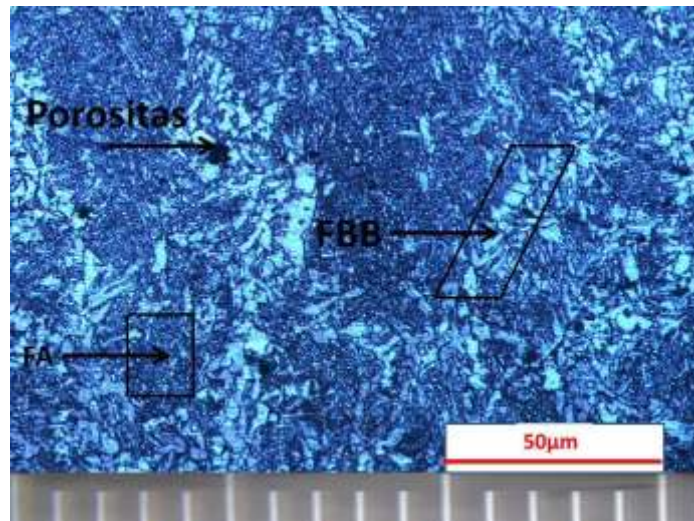


Gambar 4.7. Struktur mikro daerah las spesimen dengan *preheating treatment* 225°C perbesaran 200X

d. *Preheating Treatment* suhu 325°C



Gambar 4.8. Struktur mikro daerah *HAZ* spesimen dengan *preheating treatment* 325°C perbesaran 200X



Gambar 4.9. Struktur mikro daerah las spesimen dengan *preheating treatment* 325°C perbesaran 200X

3. Hasil Uji Tarik Tanpa Perlakuan *Preheating Treatment*

Nilai kekuatan tarik *raw material* dimana material tersebut disambung las *GMAW* tanpa perlakuan *preheating treatment* dengan berbagai variasi suhu 125°, 225°, 325°C, nilai kekuatan tariknya ditampilkan seperti pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2. Hasil Uji Tarik *Raw Material*

Data ke	Tensile Strength (kg/mm ²)	Rata – Rata Tensile (kg/mm ²)
1	59,48	61,06
2	60,11	
3	63,60	

Ketiga data tersebut diperoleh rata – rata kekuatan tarik 61,06 kg/mm² yang menjadi data rujukan atau data pembanding. Data pembanding ini digunakan sebagai pembanding terhadap data kekuatan tarik sambungan las *GMAW* dengan perlakuan *preheating treatment* suhu 125°, 225°, 325°C.

Nilai regangan dari spesimen uji tarik tanpa perlakuan (*Raw Material*) dapat dilihat dari Tabel 4.3.

Tabel 4.3. Nilai Regangan spesimen uji *Raw Material*

Data ke	Panjang Awal (mm)	panjang patah (mm)	Elongation (%)	Rata – rata Elongation (%)
1	40	44,8	12,00	
2	40	45,6	14,00	14,67
3	40	47,2	18,00	

Nilai tegangan luluh *Raw material* dari spesimen uji tanpa perlakuan (*Raw Material*) dapat dilihat dari Tabel 4.4.

Tabel 4.4 Nilai tegangan luluh spesimen uji *Raw Material*

hY (mm)	Py(%)	Py(Kg)	σ_y (kg/mm ²)	Rata-rata σ_y (kg/mm ²)
47	0,54	2571,17	23,49	
40	0,53	2134,4	19,23	20,71
40	0,53	2125,19	19,41	

4. Hasil Uji Tarik dengan Perlakuan *Preheating Treatment*

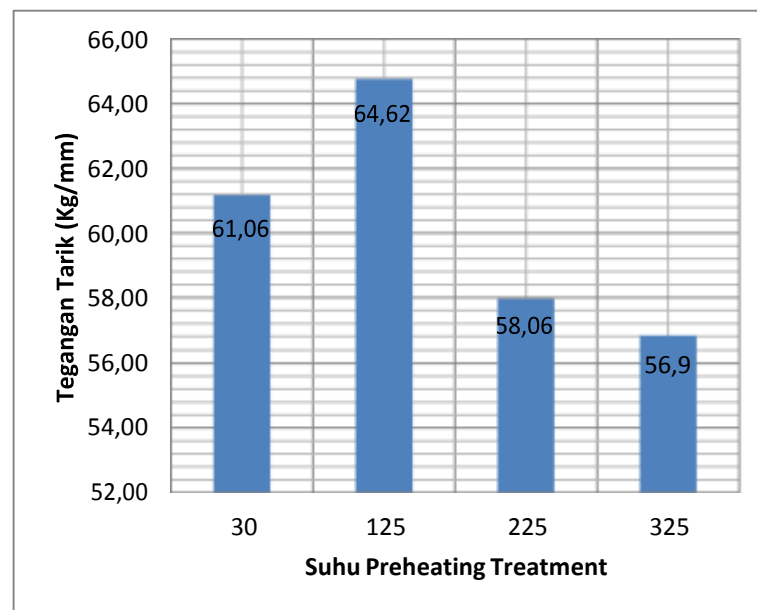
Uji Tarik sambungan las *GMAW* setelah perlakuan *preheating treatment* dengan tabel tegangan dan regangan yang didapat setelah uji tarik terhadap spesimen. Uji Tarik sambungan las *GMAW* setelah perlakuan *Preheating treatment* didapatkan hasil olah data seperti pada Tabel 4.5.

Tabel 4.5. Hasil Uji Tarik dengan Perlakuan *Preheating Treatment*

Suhu <i>Preheating Treatment</i>	Data ke	Tensile Strength (kg/mm ²)	Rata – Rata (kg/mm ²)
125°C	1	65,69	
	2	69,15	64,62
	3	59,01	
225°C	1	58,25	
	2	58,79	58,06
	3	57,16	
325°C	1	57,11	
	2	57,16	56,90
	3	56,43	

Dari nilai rata – rata kekuatan tarik pada spesimen dengan perlakuan *preheating treatment* suhu 125, 225 dan 325°C berdasarkan tabel. Menunjukkan grafik menurun dengan rata – rata *preheating treatment* suhu 125°C sebesar 64,42

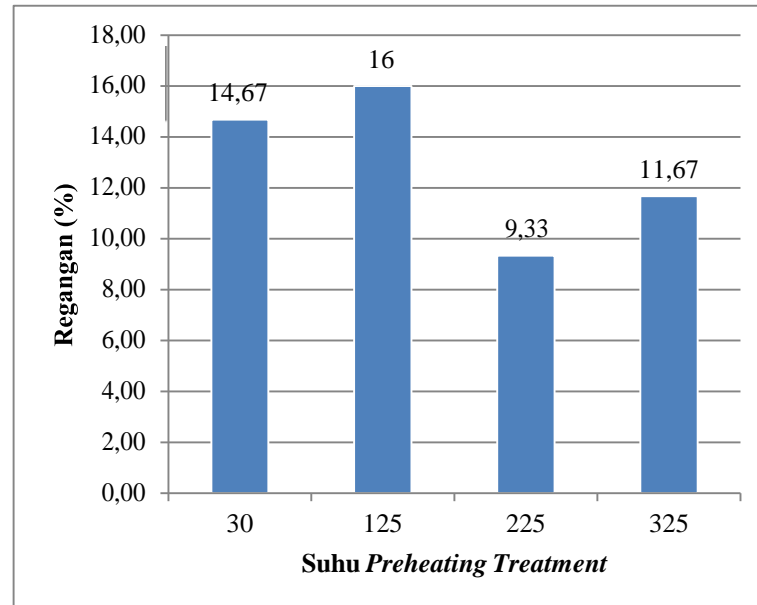
kg/mm² lalu menurun dengan rata – rata *preheating treatment* suhu 225°C sebesar 58,06 kg/mm² lalu kembali menurun lagi dengan rata – rata *preheating treatment* suhu 325°C sebesar 56,9 Kg/mm². Hal tersebut menunjukkan bahwa spesimen dengan perlakuan *preheating treatment* suhu 125°C menghasilkan nilai kekuatan tarik rata – rata terbaik.



Gambar 4.10. Diagram Batang Nilai Tegangan Tarik.

Nilai regangan spesimen uji tarik dengan perlakuan *preheatnig treatment* suhu 125, 225 dan 325°C ditunjukkan pada Tabel 4.6.

Suhu	Data ke	Panjang Awal (mm)	panjang patah (mm)	Elongation (%)	Rata – rata Elongation (%)
125°C	1	40	47,6	19,00	16,00
	2	40	47,2	18,00	
	3	40	44,4	11,00	
225°C	1	40	41,6	4,00	9,33
	2	40	45,2	13,00	
	3	40	44,4	11,00	
325°C	1	40	44,8	12,00	11,67
	2	40	44,8	12,00	
	3	40	44,4	11,00	

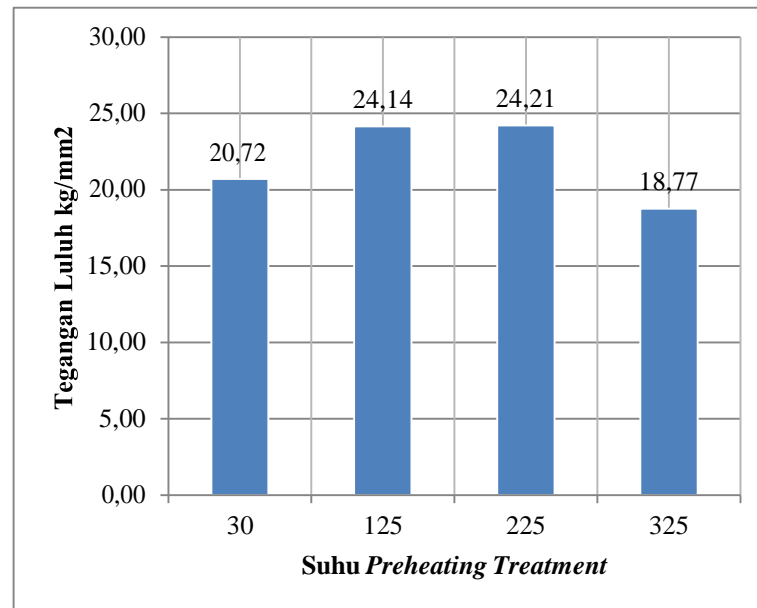


Gambar 4.11. Diagram Batang Nilai Regangan

Nilai tegangan luluh spesimen uji tarik dengan perlakuan *preheating treatment* suhu 125, 225 dan 325°C ditunjukkan pada Tabel 4.7.

Tabel 4.7. Nilai Tegangan Luluh uji tarik dengan perlakuan

Suhu	Data ke	hY (mm)	Py(%)	Py(Kg)	σ_y (kg/mm ²)	Rata-rata σ_y (kg/mm ²)
125°C	1	50	0,53	2677,419	26,48	24,13
	2	42	0,53	2267,027	22,42	
	3	45	0,52	2357,522	23,50	
225°C	1	45	0,55	2481,081	23,61	24,21
	2	55	0,53	2960,086	27,75	
	3	40	0,54	2184,186	21,26	
325°C	1	35	0,55	1930,932	16,93	18,76
	2	43	0,51	2186,667	19,05	
	3	43	0,53	2299,331	20,30	



Gambar 4.12. Diagram Batang Nilai Tegangan Luluh.

B. Pembahasan

1. Pengaruh tanpa Perlakuan *Preheating Treatment* dan Perlakuan *Preheating treatment* terhadap Struktur Mikro.

Selama proses pengelasan, siklus *thermal* terjadi pada daerah logam las dan *HAZ* diantaranya adalah pemanasan hingga mencapai suhu tertentu yang kemudian diikuti dengan pendinginan. Hal tersebut mempengaruhi struktur mikro dari logam yang bersangkutan, sedangkan perubahan ukuran butir dan struktur yang terbentuk pada struktur mikro mengakibatkan keuletan dan kekerasan yang berbeda. Berikut ini pembahasan mengenai perubahan struktur mikro dan sifat mekanik logam yang terjadi akibat adanya perbedaan arus pengelasan dengan membandingkan arus pengelasan.

a. *Raw Material*

Struktur mikro yang ada pada *raw material* adalah *ferit* dan *perlit* yang mempunyai butiran yang besar. Struktur *ferit* mempunyai kekuatan

dan keuletan yang cukup, sedangkan struktur *perlit* mempunyai sifat yang keras dan kurang ulet. Pada Gambar 4.1. Struktur ferit mendominasi area. Untuk pengujian tarik kelompok *raw material* mempunyai nilai kekuatan yang tinggi, karena mengandung unsur Mn yang besar yaitu 0,65 % dan kandungan unsur silikon (Si) sebesar 0,31 %. Fungsi dari unsur Mn adalah dapat mengikat karbon (C) membentuk karbida mangan (Mn_3C) yang dapat menaikkan kekuatan, ketangguhan baja dan meningkatkan kekerasan. Fungsi dari kandungan unsur silikon adalah pembentuk *ferit* yang sangat kuat dan juga untuk menguatkan baja.

b. Daerah HAZ

Pada Gambar 4.2., 4.4., 4.6., 4.8. Foto struktur mikro menunjukkan struktur yang terbentuk adalah *ferit* halus, *perlit* halus, dan terdapat porositas. *ferit* halus ditandai dengan warna yang terang, sementara *perlit* ditandainya dengan warna lebih kegelapan, porositas ditunjukkan berbentuk bulat yang berwarna gelap seperti lubang. Temperatur selama pengelasan diatas $1100^{\circ}C$, tetapi dibawah titik cair maka menyebabkan pertumbuhan butir *austenit*, selanjutnya butir *austenit* ini berubah menjadi *bainit* selama pendinginan. Butir kasar membentuk daerah las dimana temperatur selama pengelasan lebih rendah dari $1100^{\circ}C$ dan nukleasi *austenit* terjadi tanpa pertumbuhan butir, selama pendinginan butir halus *austenit* berubah menjadi *ferit* halus dan butir *perlit* (Agus duniawan dan Sutrimo, 2014), serta *bainit* itu sendiri lebih keras dari *perlit* tetapi lebih rendah dibanding *martensit*.

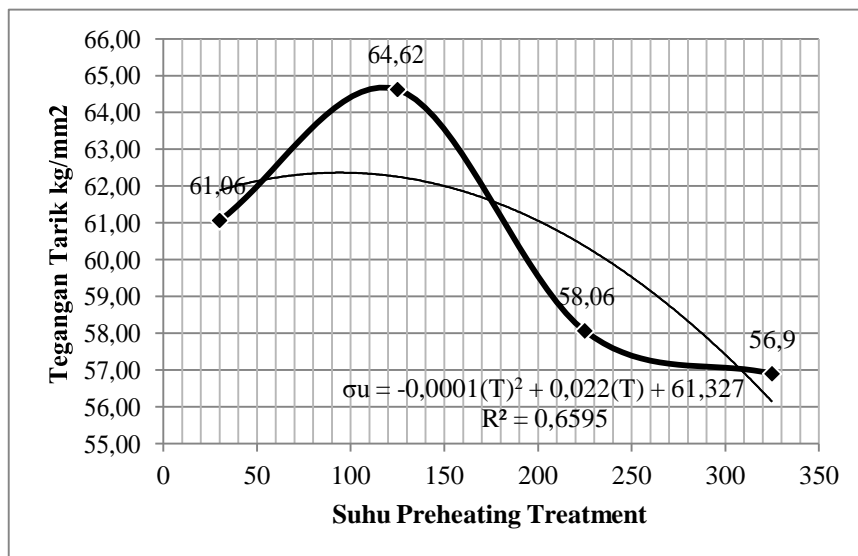
c. Daerah Las

Pada Gambar 4.3., 4.5., 4.7., 4.9. Menunjukkan struktur mikro pada logam las terdapat struktur *ferit acicular (FA)* dan *ferit batas butir (FBB)* atau *grain boundary ferrite*. Struktur mikro untuk *ferit batas butir (FBB)* terlihat kecil dan struktur untuk *ferit acicular (FA)* berbutir lembut dan mendominasi area. *Ferit* batas butir yang terbentuk besar dan memanjang, *ferit acicular* berbentuk bilah-bilah yang menyilang. Pada pengelasan suhu preheating treatment 125°C Bentuk *ferit acicular (FA)* yang berupa bilah-bilah yang menyilang terlihat lebih sedikit dibanding suhu 225°C atau suhu 325°C, terbentuknya struktur seperti ini disebabkan oleh pendinginan yang relatif cepat. Pada pengelasan suhu 325°C jumlah struktur *ferit acicular* terlihat lebih banyak dibanding suhu 225°C dan 125°C, hal ini disebabkan oleh meningkatnya masukan panas maka laju pendinginan setelah pengelasan akan menjadi lambat, sehingga struktur *ferit acicular* yang terbentuk akan lebih banyak. Serta struktur *ferit acicular* inilah yang diharapkan dari setiap proses pengelasan, karena struktur ini sebagai *interlocking structure* yaitu yang mampu menghambat laju perambatan retak yang dijelaskan Agus Duniawan dan Sutrimo (2014) dalam Grong (1986).

2. Pengaruh tanpa Perlakuan *Preheating Treatment* dan Perlakuan *Preheating treatment* terhadap Kekuatan Tarik.

a. Tensile Strength

Berdasarkan data hasil uji tarik pada Tabel 4.2. dan Tabel 4.5. maka dapat dibuat grafik seperti pada Gambar 4.13.



Gambar 4.13. Grafik pengaruh *preheating treatment* terhadap tegangan tarik

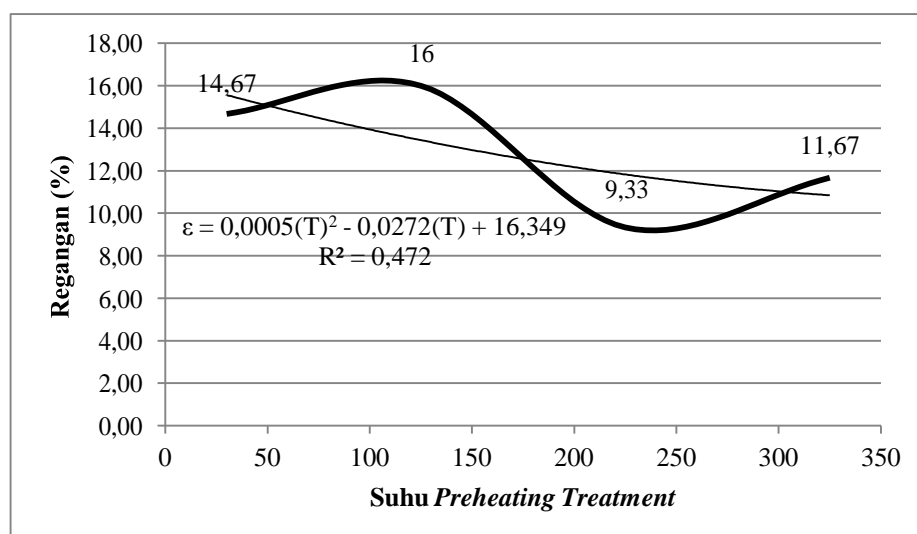
Gambar 4.13. menunjukkan bahwa nilai *tensile strength* tertinggi pada spesimen dengan perlakuan suhu *preheating treatment* 125°C dengan nilai sebesar 64,62 kg/mm². Nilai kekuatan tarik terkecil terdapat pada spesimen dengan perlakuan suhu *preheating treatment* 325°C dengan nilai 56,9 kg/mm². Nilai kekuatan tarik dari *raw material* lebih tinggi dari nilai kekuatan tarik spesimen dengan perlakuan suhu 225 dan 325°C. Berdasarkan grafik kekuatan tarik tersebut didapat persamaan garis $\sigma_u = -0,0001(T)^2 + 0,022(T) + 61,327$ melalui persamaan garis tersebut didapat nilai dari kekuatan tarik seperti pada Gambar 4.13.

Pada persamaan garis σu (kekuatan tarik) dipengaruhi oleh koefisien T , koefisien tersebut merupakan nilai dari variasi suhu *preheating treatment*. Berdasarkan persamaan tersebut dapat dilihat bahwa R^2 sebesar 0,6595, R^2 sendiri merupakan sumbangan variabel dari koefisien T terhadap σu yaitu sebesar 0,6595/65,95%. Sumbangan dari variabel T sebesar 65,95% cukup besar sehingga variasi suhu *preheating treatment* yang diberikan mempengaruhi kekuatan tarik yang dihasilkan.

Menurut Khalid A., dkk (2016) perlakuan panas pengelasan dengan suhu awal 400°C dan suhu akhir 550°C, memiliki peningkatan uji tarik, karena pengelasan yang sempurna padat membuat alur dan tidak ada rongga – rongga udara. Semakin uletnya suatu bahan berarti lebih banyak energi yang diserap sampai bahan tersebut patah.

b. Regangan

Hasil uji tarik juga menampilkan nilai regangan dalam bentuk grafik berdasarkan Tabel 4.3. dan Tabel 4.6. ditunjukkan pada Gambar 4.11.



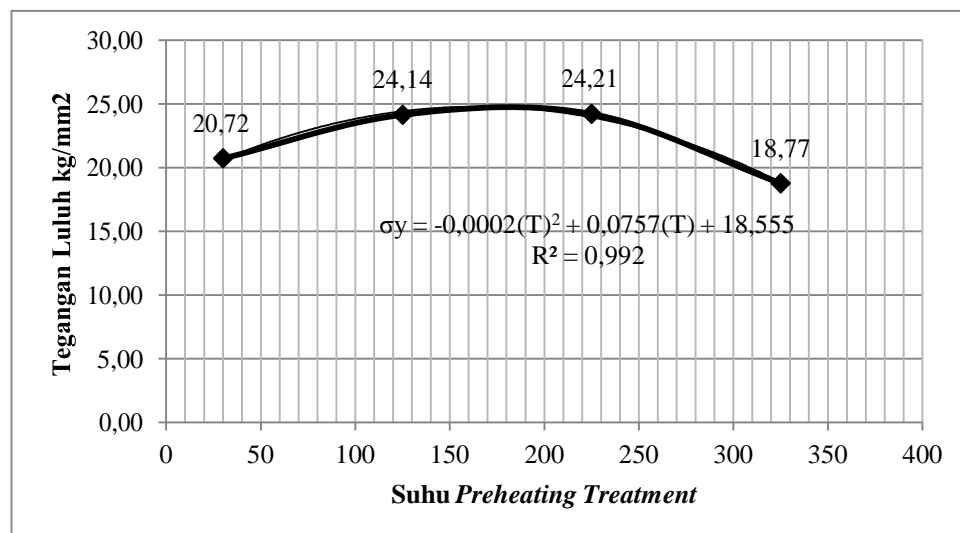
Gambar 4.14. Grafik pengaruh *preheating treatment* terhadap regangan (*elongation*)

Perlakuan *preheating treatment* suhu 125°C mempunyai nilai tertinggi sebesar 16% menunjukkan bahwa elastis bahan pada perlakuan ini mengalami deformasi paling panjang, kemudian mengalami penurunan nilai elastisitas pada perlakuan suhu 225°C dengan nilai terendah sebesar 9,33% menunjukkan bahwa perlakuan suhu ini mengalami deformasi paling rendah. Perlakuan suhu 325°C meningkat setelah pada perlakuan suhu 225°C mengalami penurunan, nilai elastisitas pada suhu 325°C sebesar 11,67%. Berdasarkan grafik regangan diatas didapat persamaan garis $\varepsilon = 0,0005(T)^2 - 0,0272(T) + 16,439$, melalui persamaan garis tersebut didapat nilai dari regangan seperti pada Gambar 4.14.

Pada persamaan garis ε (regangan) dipengaruhi oleh koefisien T , koefisien tersebut merupakan nilai dari variasi suhu *preheating treatment*. Berdasarkan persamaan tersebut dapat dilihat bahwa R^2 sebesar 0,472 , R^2 sendiri merupakan sumbangan variabel dari koefisien T terhadap ε yaitu sebesar 0,472/47,2%. Sumbangan dari variabel T sebesar 47,2% cukup besar sehingga variasi suhu *preheating treatment* yang diberikan mempengaruhi regangan yang dihasilkan.

c. Tegangan Luluh

Hasil uji tarik juga menampilkan nilai tegangan luluh dalam bentuk grafik berdasarkan Tabel 4.4. dan Tabel 4.7. ditunjukkan pada Gambar 4.15.



Gambar 4.15. grafik pengaruh *preheating treatment* terhadap tegangan luluh.

Pada proses *preheating treatment* suhu 225°C mempunyai nilai tegangan luluh tertinggi dengan nilai sebesar 24,21 kg/mm². Berdasarkan grafik regangan diatas didapat persamaan garis $\sigma_y = 0,0002(T)^2 - 0,0757(T) + 18,555$, melalui persamaan garis tesebut didapat nilai dari regangan seperti pada Gambar 4.15.

Pada persamaan garis ε (regangan) dipengaruhi oleh koefisien T , koefisien tersebut merupakan nilai dari variasi suhu *preheating treatment*. Berdasarkan persamaan tersebut dapat dilihat bahwa R^2 sebesar 0,992 , R^2 sendiri merupakan sumbangan variabel dari koefisien T terhadap ε yaitu sebesar 0,992/99,2%. Sumbangan dari variabel T sebesar 99,2% cukup besar sehingga variasi suhu *preheating treatment* yang diberikan mempengaruhi regangan yang dihasilkan.

BAB V

PENUTUP

A. Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan pada pengaruh variasi suhu *preheating treatment* terhadap kekuatan tarik dan struktur mikro proses las *GMAW* bahan ST60, dapat disimpulkan bahwa:

1. *Preheating treatment* mempengaruhi kekuatan tarik proses las *GMAW* bahan ST60. Nilai kekuatan tarik tertinggi pada pengaruh variasi suhu 125°C yaitu 564,62 kg/mm². Nilai kekuatan tarik terendah pada variasi suhu 325°C yaitu 56,9 kg/mm². Secara berturut – turut mengalami penurunan terlihat pada angka kekuatan tarik yang ditunjukkan dalam bentuk grafik.
2. Struktur mikro yang dihasilkan *preheating treatment* merubah struktur mikro menjadi *austenit* sehingga menyebabkan getas. Hasil *austenit* terkecil pada *preheating treatment* suhu 125°C. Terdapat struktur mikro *austenit* yang banyak pada *preheating treatment* suhu 325°C. Secara berturut – turut dapat dilihat pada hasil foto mikro antara *HAZ* dan sambungan las.

B. Saran

Berdasarkan simpulan di atas maka pada proses *preheating treatment* sebaiknya memperhatikan beberapa saran berikut ini :

1. Parameter proses *preheating treatment* harus memperhatikan bahan yang digunakan agar hasil sambungan hasil menghasilkan kekuatan tarik tertinggi.
2. Proses pengelasan yang standar juga sangat mempengaruhi hasil sambungan las, disarankan proses pengelasan dilakukan oleh alat yang sudah mempunyai standar sehingga hasil sambungan las lebih baik.
3. Penggunaan suhu *preheating treatment* suhu 125°C disarankan untuk meningkatkan hasil kekuatan tarik sambungan las *GMAW* bahan ST60 baja karbon tinggi.


DAFTAR PUSTAKA

- Aji K.B. dan Wijoyo. 2015. Kajian kekerasan dan struktur mikro sambungan las GMAW baja karbon tinggi dengan variasi masukan arus listrik. Surakarta. Jurnal Simetris. Vol 6 No 2 November. Fakultas teknik industri Universitas Negeri Surakarta. Hal 247.
- Amanto H. dan Daryanto. 1999. *Ilmu Bahan*. Jakarta : PT. Bumi Aksara.
- Dadang. 2013. Teknik Las GTAW. Malang : Kemendikbud.
- Duniawan, Agus dan Sutrimo. 2014. *Pengaruh Kecepatan Arus Pengelasan Dan Panas Masuk Terhadap Sifat Mekanis Logam Las Pada Pengelasan SAW Baja Karbon ASTM A 29*. Jurnal Teknologi Technoscientia, Vol.7, No. 1, Halaman 1-9. (online), <http://technoscientia.akprind.ac.id>. Diakses 3 Juni 2016.
- Dieter G. E. 1988. *Mechanical Metallurgy*. Singapore. ISBN 0-07-100406-8 Chapter 8. Page 278-279.
- Khalid A. 2016. Pengaruh Perlakuan Panas Diawal dan Akhir Terhadap Sifat Fisis dan Mekanis pada Pengelasan Baja Karbon Sedang. Jurnal INTEKNA, Vol. 16 No 1 ISSN : 2443-1060. Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Banjarmasin. Hal 98.
- Ilman N.M. dan Saifudin. Pengaruh *preheat* terhadap struktur mikro dan kekuatan tarik las logam tak sejenis baja tahan karat austenitik AISI 304 dan baja karbon A36. Fakultas teknik, Universitas Gajah Mada. Hal 4.
- Preheating of material*. www.bocworldofwelding.com.au.
- Saito S. dan Surdia T. 1995. *Pengetahuan Bahan Teknik*. (3rd ed.). Jakarta: PT. Pradnya Paramita.
- Salindeho, dkk. Pemodelan Pengujian Tarik untuk Menganalisis Sifat Mekanik Material. Jurusan Teknik Mesin Sam Ratulangi. Hal 4.
- Sudargo, dkk. 2011. Pengaruh *filler* dan arus listrik terhadap sifat fisik-mekanik sambungan las GMAW logam tak sejenis antara baja karbon dan J4. Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi. Hal 64.
- Suratman R. Dan Sonawan H. 2004. Pengantar untuk memahami proses pengelasan logam. Bandung : CV Alfabeta.

- Suryono F. A. Dan Hendri Hestiawan. Pengaruh *Preheat* dan *Post Welding Heat Treatment* Terhadap Sifat Mekanik Sambungan Las SMAW pada Baja Amutit K-460. *Jurnal Mekanikal*, Vol. 5 No 1, 1 Januari 2014. ISSN 2086-3404. Fakultas Teknik Universitas Bengkulu. Hal 426
- Widharto, S. 2007. *Menuju Juru Las Tingkat Dunia*. Jakarta : PT. Pradnya Paramita.
- Wiryo S.H. Okumura T. 2000. *Teknologi Pengelasan Logam*. Jakarta : PT. Pradnya Paramita.
- Yunaidi. 2014. Pengaruh *preheat* dan *static – transient thermal tensioning* terhadap laju perambatan retak fatik pada sambungan las TIG Al 6061-T6. *Jurnal Foundry*. Vol 4 No 1 April ISSN : 2087-2259. Teknik Mesin LPP. Yogyakarta. Hal 17.

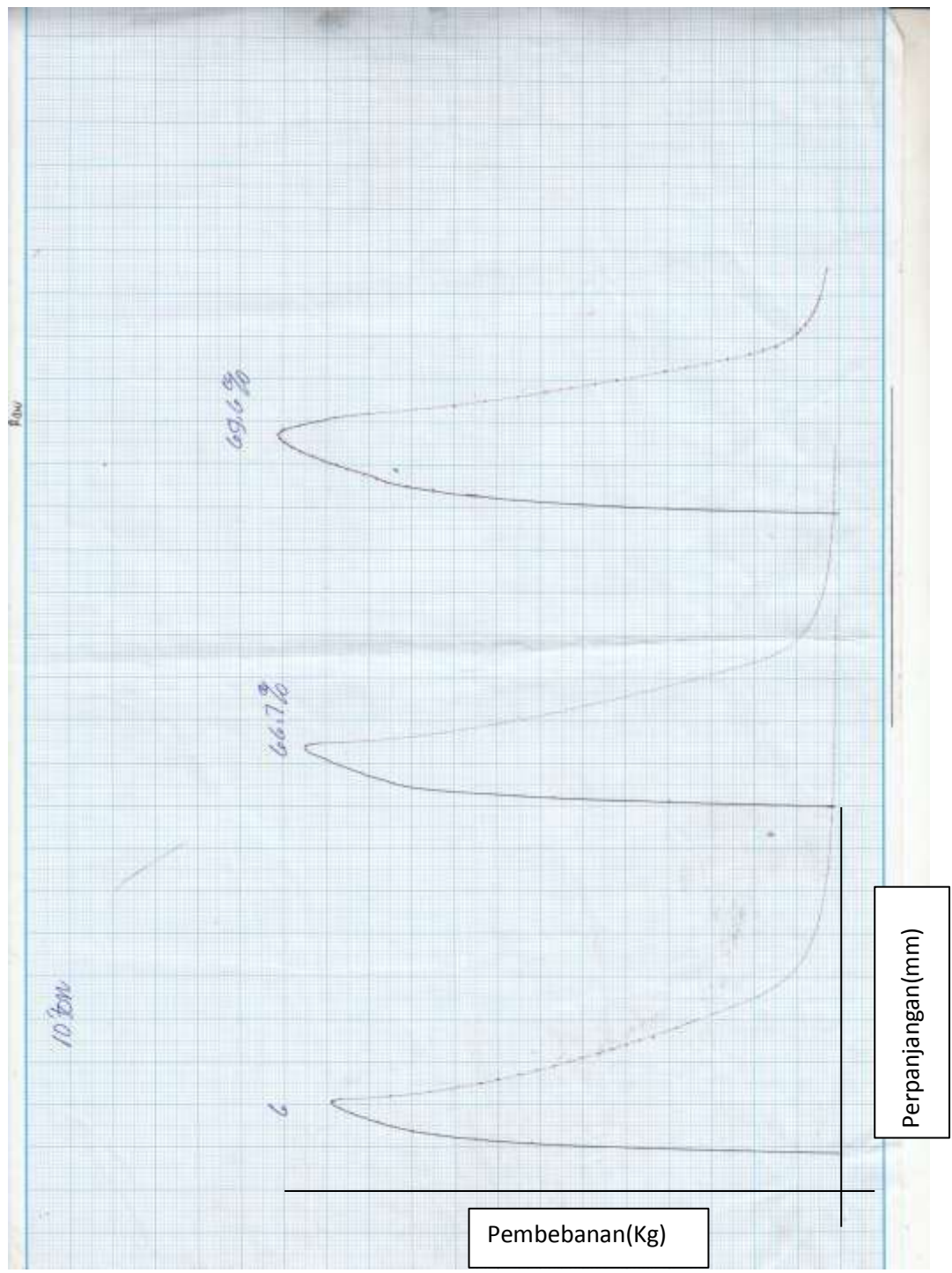
LAMPIRAN – LAMPIRAN

Lampiran 1. Komposisi Bahan

P.T. BHINNEKA BAJANAS		S.I.U.P. No. 1296/97/00 - 02/PB/XII/2000									
Jl. Karang Bolong Raya No 5, Ancol Barat, Jakarta – Indonesia P.O.Box.4103/JKT Phone: 62-21-6912116, 6912201, 6922122, 6925431, 6925581, 6909308 (handing) Fax: 6911569, 6924291											
TEST CERTIFICATE											
				Nr./No./No.: 104 / 26.02.2016 Seite/Page/Page: 01 27.08.2015							
Bestell Nr./Purchase's Order No./No. de commande BB/06/15		Lieferschein/Dispatch note/Aviz d'expédition 2015.07.20/ GB									
Zeichn. Auftrag Nr./Works Order No./No. commande et plans 610286/ RI											
Prüfgegenstand/Object of tests/Objet d'examen STEEL BARS (AISI 1045) / E.M.S 45											
Umfang der Lieferung/Volume of delivery/Liste descriptive 01 10 X 2000 X 5730 MM				Gewicht kg Weight kg Poids kg 2674.00	Schmelze Heat No. No. de coulée Z9216136L	Prüf-Nr. Test No. Epreuve No. 29216136L					
Chemische Zusammensetzung/Chemical Composition/Composition chimique (%)											
Schmelze Heat No. No. de coulée Z9216136L											
	C	SI	MN	P	S	CR	NI	Mo	V	Al	Cu
	0.520	0.310	0.650	0.19	0.02						0.010
DO NO : 01310/V/16/Ssp. Tanggal : 20-05-2016 PT. BHINNEKA BAJANAS											
Chemische Zusammensetzung/Chemical Composition/Composition chimique (%)											
Prüf-Nr. Test No. Epreuve No. 01	Härte/ Brinell ≤ 190	Tensile Strength (Rm) N/mm2	Yield Strength (Rp 0.2) N/mm2	Elongation %	Reduction %						

Lampiran 2. Data Hasil Uji Tarik

a. Raw Material di Universitas Gajah Mada S1.



Lampiran 3. Perhitungan Hasil Uji Tarik

1. Perhitungan Tegangan Maksimal (σ_u)

$$\sigma_u = \frac{F_u}{A_0}$$

Dimana: σ_u = Tegangan *Ultimate* (Kg/mm²)

= Beban (Kg)

= Luas penampang mula-mula

a. Tegangan Maksimal (σ_u) *raw material*

- Tegangan maksimal (σ_u) *raw material* spesimen 1:

$$= 10000 \text{ kg} \times \frac{6510}{10000} = 6510 \text{ kg}$$

$$\sigma_u = \frac{6510}{108,3} = 59,48$$

- Tegangan maksimal (σ_u) *raw material* spesimen 2:

$$= 10000 \text{ kg} \times \frac{6670}{10000} = 6670 \text{ kg}$$

$$\sigma_u = \frac{6670}{110,0} = 60,11$$

- Tegangan maksimal (σ_u) *raw material* spesimen 3:

$$= 10000 \text{ kg} \times \frac{6960}{10000} = 6960 \text{ kg}$$

$$\sigma_u = \frac{6960}{108,0} = 63,60$$

$$\text{Rata-rata} = \frac{59,48 + 60,11 + 63,60}{3} = 61,06 \text{ kg/mm}^2$$

2. Perhitungan Regangan (ϵ)

$$\epsilon = \frac{L - L_0}{L_0} \times 100\% = \frac{L - L_0}{L_0} \times 100\%$$

Dimana: ϵ = Elongation (%)

= Panjang spesimen setelah diuji tarik (mm)

= panjang spesimen sebelum diuji tarik (mm)

b. Regangan (ϵ) *raw material*

- Regangan (ϵ) *raw material* spesimen 1:

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

$$\frac{1,2}{10} \times 100\% = 12\%$$

- Regangan (ε) *raw material* spesimen 2:

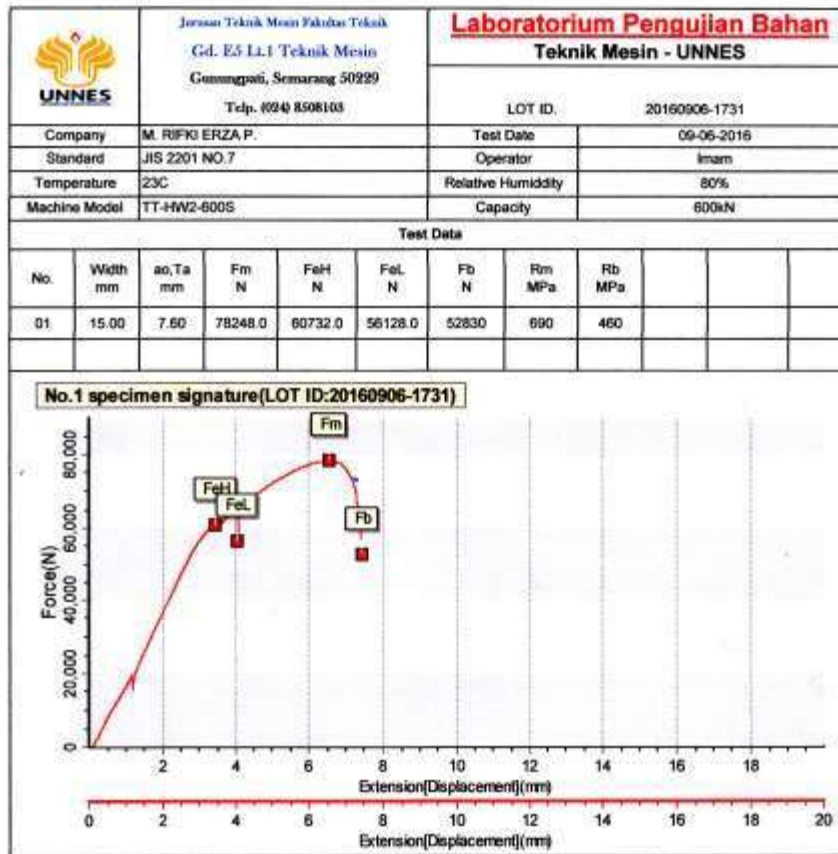
$$\frac{1,4}{10} \times 100\% = 14\%$$

- Regangan (ε) *raw material* spesimen 3:

$$\frac{1,8}{10} \times 100\% = 18\%$$

$$\text{Rata-rata} = \frac{12 + 14 + 18}{3} = 14,67\%$$

b. Raw Material di Universitas Negeri Semarang.

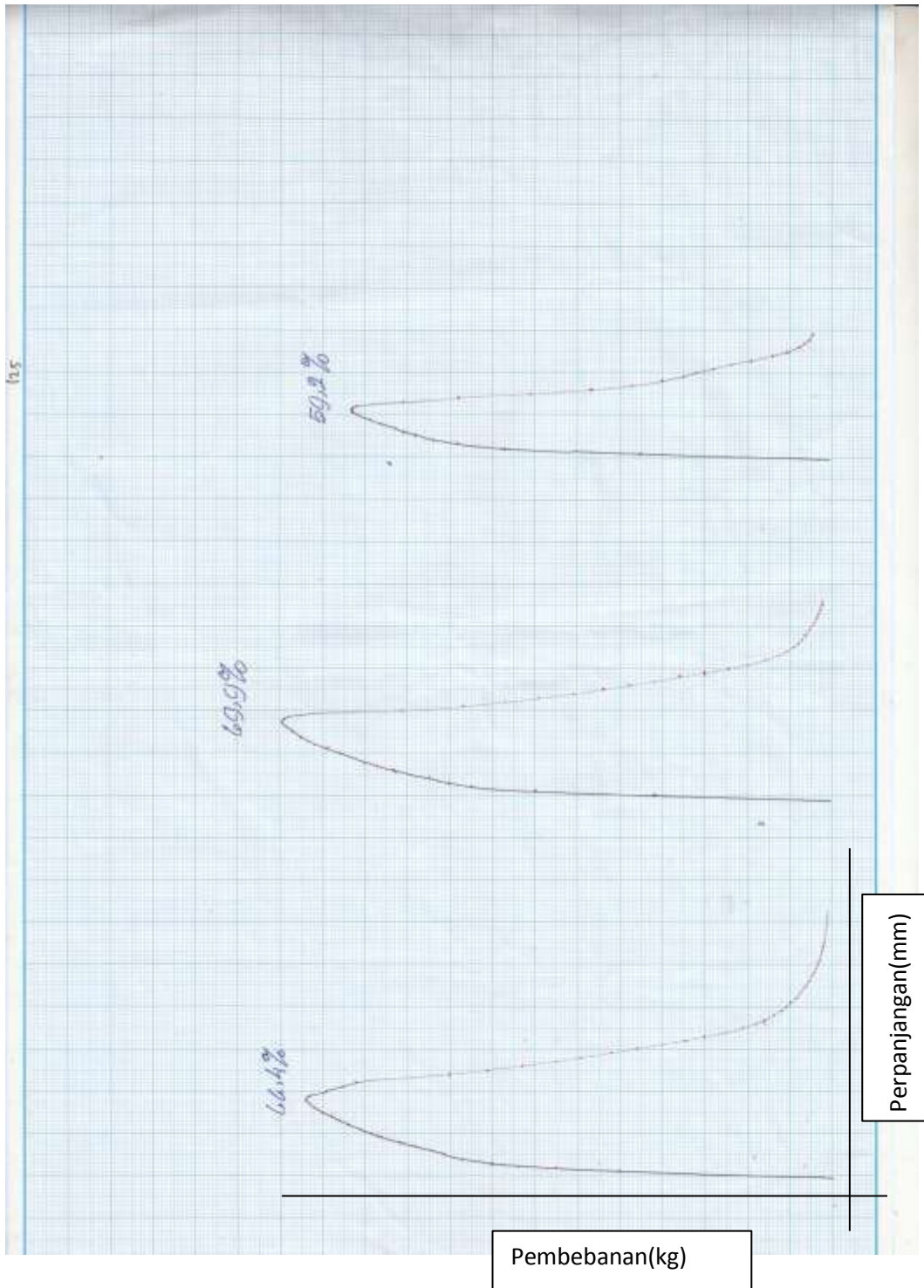


Operator:

QC:

Page 1

c. *Preheating Treatment Suhu 125°C di Universitas Gajah Mada.*



Lampiran 3. Perhitungan Hasil Uji Tarik

3. Perhitungan Tegangan Maksimal (σ_u)

$$\sigma_u = \frac{F}{A_0}$$

Dimana: σ_u = Tegangan *Ultimate* (Kg/mm²)

= Beban (Kg)

= Luas penampang mula-mula

a. Tegangan maksimal (σ_u) *preheating treatment* 125°C:

- Tegangan maksimal (σ_u) *preheating treatment* 125°C spesimen 1:

$$= 10000 \text{ kg} \times \frac{1}{15200} = 6640 \text{ kg}$$

$$\sigma_u = \frac{6640}{102} = 65,69$$

- Tegangan maksimal (σ_u) *preheating treatment* 125°C spesimen 2:

$$= 10000 \text{ kg} \times \frac{1}{14500} = 6990 \text{ kg}$$

$$\sigma_u = \frac{6990}{102} = 69,15$$

- Tegangan maksimal (σ_u) *preheating treatment* 125°C spesimen 3:

$$= 10000 \text{ kg} \times \frac{1}{16800} = 5920 \text{ kg}$$

$$\sigma_u = \frac{5920}{102} = 59,01$$

$$\text{Rata-rata} = \frac{6640 + 6990 + 5920}{3} = 64,62 \text{ kg/mm}^2$$

4. Perhitungan Regangan (ϵ)

$$\epsilon = \frac{L - L_0}{L_0} \times 100\% = \frac{L - L_0}{L_0} \times 100\%$$

Dimana: ϵ = Elongation (%)

= Panjang spesimen setelah diuji tarik (mm)

= panjang spesimen sebelum diuji tarik (mm)

b. Regangan (ϵ) *preheating treatment* 125°C

- Regangan (ϵ) *preheating treatment* 125°C spesimen 1:

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

$$\frac{1.9}{10} \times 100\% = 19\%$$

- Regangan (ε) *preheating treatment* 125°C spesimen 2:

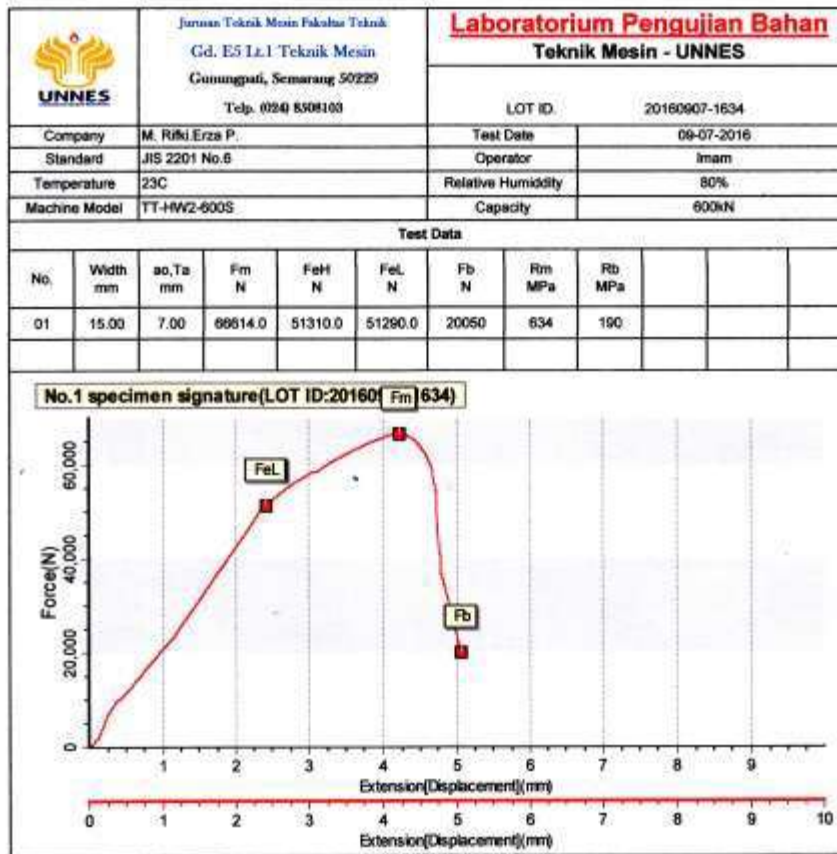
$$\frac{1.8}{10} \times 100\% = 18\%$$

- Regangan (ε) *preheating treatment* 125°C spesimen 3:

$$\frac{1.1}{10} \times 100\% = 11\%$$

$$\text{Rata-rata} = \frac{19\% + 18\% + 11\%}{3} = 16\%$$

d. *Preheating Treatment Suhu 125°C di Universitas Negeri Semarang.*

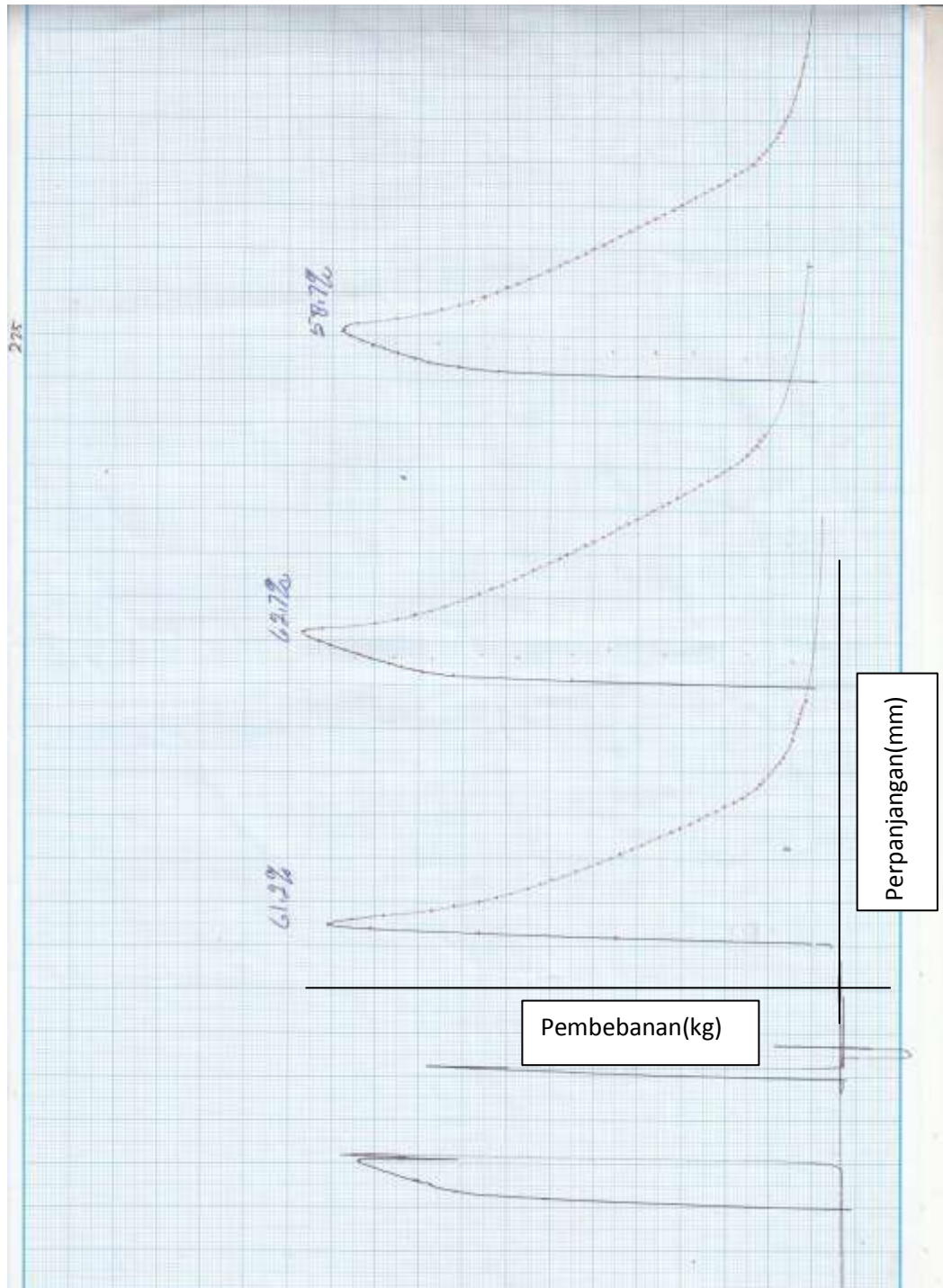


Operator:

QC:

Page 1

e. *Preheating Treatment Suhu 225°C di Universitas Gajah Mada.*



5. Perhitungan Tegangan Maksimal (σ_u)

$$\sigma_u = \frac{F}{A_0}$$

Dimana: σ_u = Tegangan *Ultimate* (Kg/mm²)

= Beban (Kg)

= Luas penampang mula-mula

a. Tegangan maksimal (σ_u) *preheating treatment* 225°C:

- Tegangan maksimal (σ_u) *preheating treatment* 225°C spesimen 1:

$$= 10000 \text{ kg} \times \frac{1}{16320} = 6120 \text{ kg}$$

$$\sigma_u = \frac{6120}{104} = 58,25$$

- Tegangan maksimal (σ_u) *preheating treatment* 225°C spesimen 2:

$$= 10000 \text{ kg} \times \frac{1}{15700} = 6270 \text{ kg}$$

$$\sigma_u = \frac{6270}{108} = 58,79$$

- Tegangan maksimal (σ_u) *preheating treatment* 225°C spesimen 3:

$$= 10000 \text{ kg} \times \frac{1}{17100} = 5870 \text{ kg}$$

$$\sigma_u = \frac{5870}{102} = 57,16$$

$$\text{Rata-rata} = \frac{58,25 + 58,79 + 57,16}{3} = 58,06 \text{ kg/mm}^2$$

6. Perhitungan Regangan (ϵ)

$$\epsilon = \frac{L - L_0}{L_0} \times 100\% = \frac{L - L_0}{L_0} \times 100\%$$

Dimana: ϵ = Elongation (%)

= Panjang spesimen setelah diuji tarik (mm)

= panjang spesimen sebelum diuji tarik (mm)

b. Regangan (ϵ) *preheating treatment* 225°C

- Regangan (ϵ) *preheating treatment* 225°C spesimen 1:

$$\epsilon = \frac{L - L_0}{L_0} \times 100\%$$

$$\frac{\quad}{\quad} \times 100\% = 4\%$$

- Regangan (ϵ) *preheating treatment* 225°C spesimen 2:
 $\epsilon = \frac{\quad}{\quad} \times 100\%$

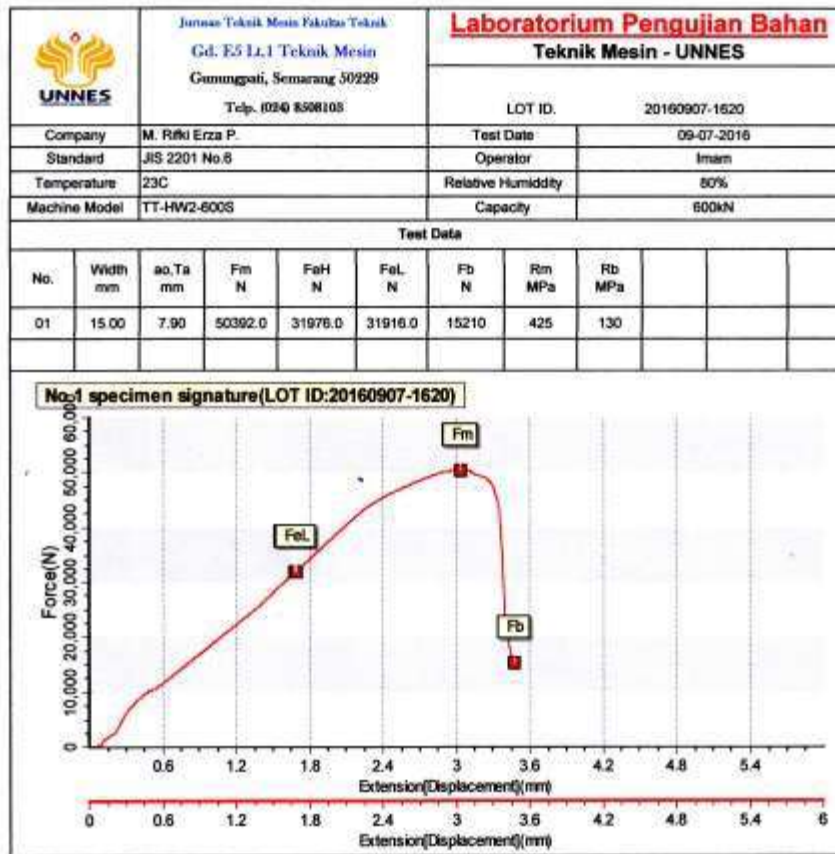
$$\frac{\quad}{\quad} \times 100\% = 13\%$$

- Regangan (ϵ) *preheating treatment* 225°C spesimen 3:
 $\epsilon = \frac{\quad}{\quad} \times 100\%$

$$\frac{\quad}{\quad} \times 100\% = 11\%$$

$$\text{Rata-rata} = \frac{\quad}{\quad} = 9,33\%$$

f. *Preheating Treatment Suhu 225°C di Universitas Negeri Semarang.*

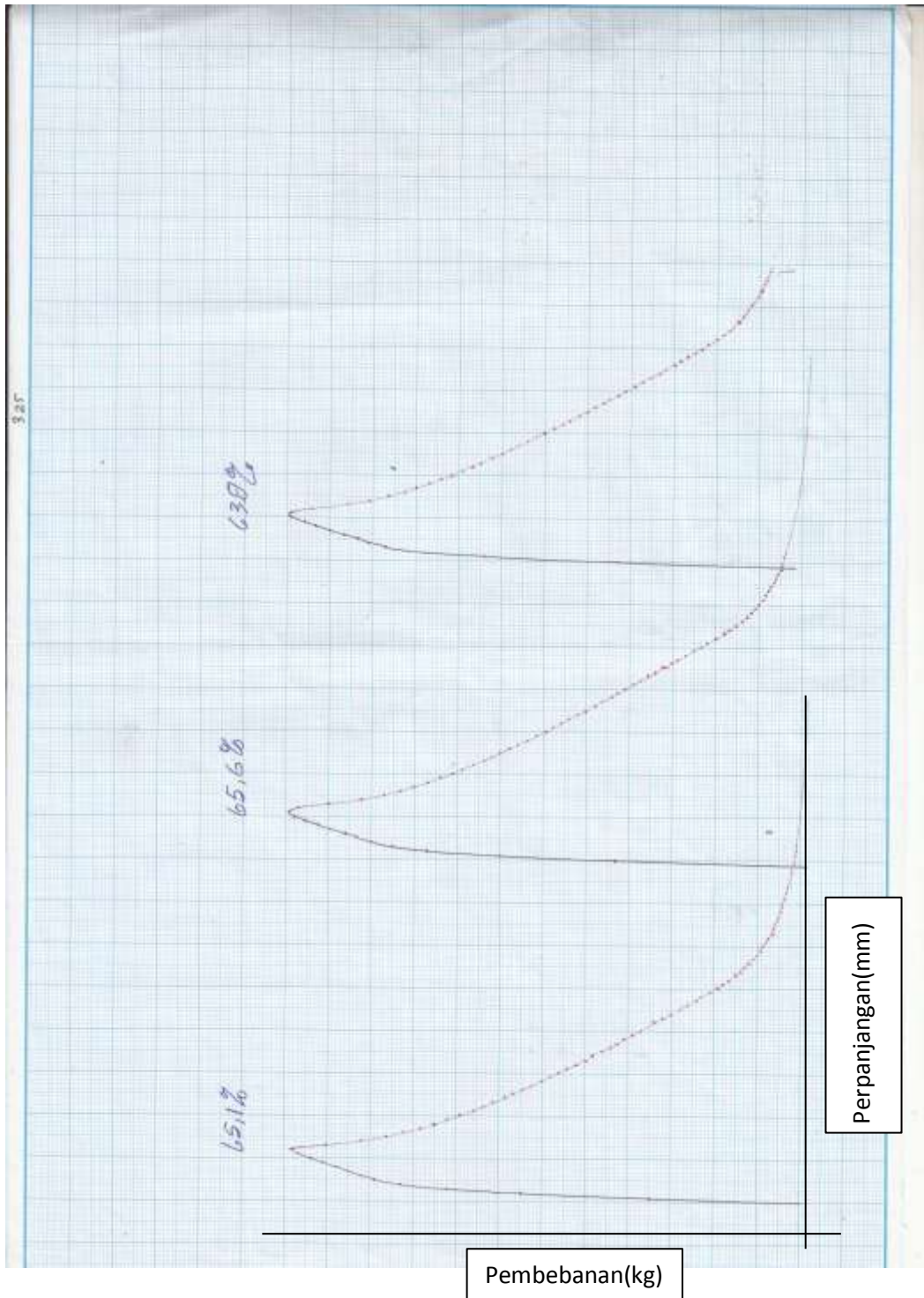


Operator:

QC:

Page 1

g. Preheating Treatment Suhu 325°C di Universitas Gajah Mada.



7. Perhitungan Tegangan Maksimal (σ_u)

$$\sigma_u = .$$

Dimana: σ_u = Tegangan *Ultimate* (Kg/mm²)

= Beban (Kg)

= Luas penampang mula-mula

c. Tegangan maksimal (σ_u) *preheating treatment* 325°C:

- Tegangan maksimal (σ_u) *preheating treatment* 325°C spesimen 1:

$$= 10000 \text{ kg} \times \frac{\quad}{\quad} = 6510 \text{ kg}$$

$$\sigma_u = \frac{\quad}{\quad} = 57,11$$

- Tegangan maksimal (σ_u) *preheating treatment* 325°C spesimen 2:

$$= 10000 \text{ kg} \times \frac{\quad}{\quad} = 6560 \text{ kg}$$

$$\sigma_u = \frac{\quad}{\quad} = 57,16$$

- Tegangan maksimal (σ_u) *preheating treatment* 325°C spesimen 3:

$$= 10000 \text{ kg} \times \frac{\quad}{\quad} = 6420 \text{ kg}$$

$$\sigma_u = \frac{\quad}{\quad} = 56,43$$

$$\text{Rata-rata} = \frac{\quad}{\quad} = 56,90 \text{ kg/mm}^2$$

8. Perhitungan Regangan (ϵ)

$$\epsilon = \frac{\quad}{\quad} \times 100\% = \frac{\quad}{\quad} \times 100\%$$

Dimana: ϵ = Elongation (%)

= Panjang spesimen setelah diuji tarik (mm)

= panjang spesimen sebelum diuji tarik (mm)

d. Regangan (ϵ) *preheating treatment* 325°C

- Regangan (ϵ) *preheating treatment* 325°C spesimen 1:

$$\epsilon = \frac{\quad}{\quad} \times 100\%$$

$$\frac{\quad}{\quad} \times 100\% = 12\%$$

- Regangan (ϵ) *preheating treatment* 325°C spesimen 2:
 $\frac{\epsilon}{\quad} \times 100\%$

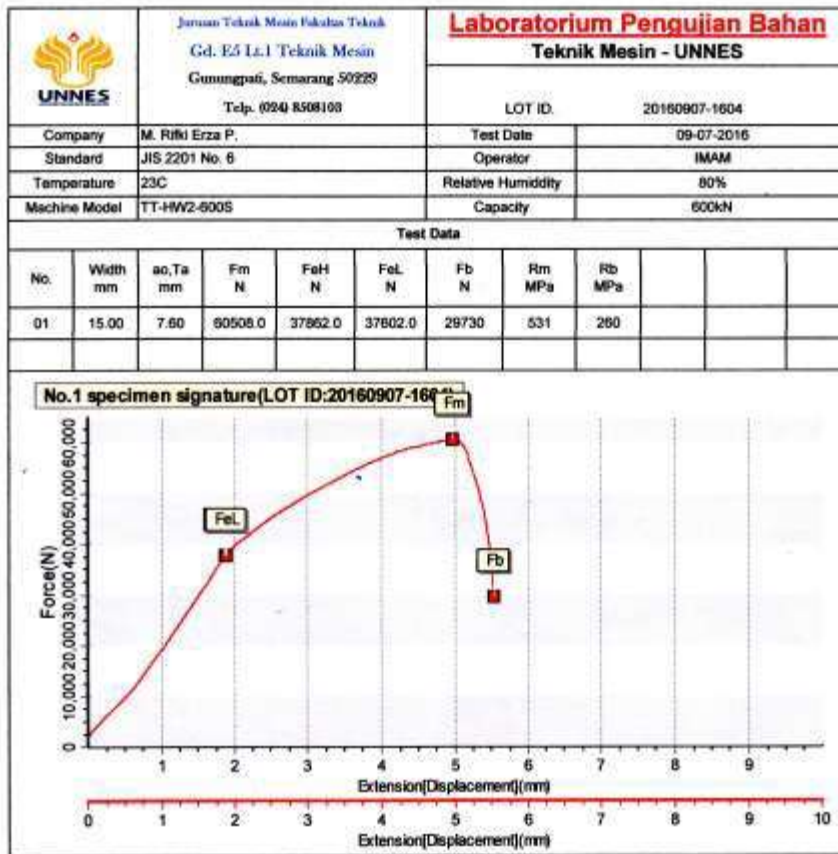
$$\frac{\quad}{\quad} \times 100\% = 12\%$$

- Regangan (ϵ) *preheating treatment* 325°C spesimen 3:
 $\frac{\epsilon}{\quad} \times 100\%$

$$\frac{\quad}{\quad} \times 100\% = 11\%$$

$$\text{Rata-rata} = \frac{\quad}{\quad} = 11,67\%$$

h. Preheating Treatment Suhu 325°C di Universitas Negeri Semarang.



Operator:

QC:

Page 1

Lampiran 4. Surat keterangan penelitian BPPLK



KEMENTERIAN KETENAGAKERJAAN RI
 DIREKTORAT JENDERAL
 PEMBINAAN PELATIHAN DAN PRODUKTIVITAS
BALAI BESAR PENGEMBANGAN LATIHAN KERJA
 Jalan Brigjen Sudarto No. 118 Semarang, Telp./Faximile (024) 6712680
 Laman: <http://www.naker.go.id>

Form	CM-TU-06
Tgl Terbit	15 Oktober 2015
Revisi	02

SURAT KETERANGAN

Nomor: Ket. 1774 /BBPLK-SMR/VI/2016

Yang bertanda tangan di bawah ini

Nama : Edy Purnomo, S.Pd., M.M.

NIP. : 19620523 198303 1 003

Jabatan : Kepala Sub. Bag. Kepegawaian & Umum

Dengan ini saya memberikan keterangan dengan sesungguhnya bahwa

Nama : Muhammad Rifki Erza Pradana

NIM. : 5201412086

Program Studi: Pendidikan Teknik Mesin, S1 UNNES

yang bersangkutan telah melaksanakan penelitian di Balai Besar Pengembangan Latihan Kerja Semarang dengan topic "PENGARUH PREHEAT TERHADAP SIFAT FISIS DAN MEKANIK PADA SAMBUNGAN LAS GMAW UNTUK BAJA KARBON TINGGI DAN STAINLESS STEEL".

Demikian keterangan ini kami buat dengan sesungguhnya.

Semarang, 22 Juni 2016

An. Kepala

Ka. Sub. Bag. Kepegawaian & Umum

Edy Purnomo, S.Pd., M.M.

NIP. 19620523 198303 1 003

Lampiran 5. Surat keterangan penelitian Teknik Mesin S1 Universitas Gajah Mada

	LABORATORIUM BAHAN TEKNIK JURUSAN TEKNIK MESIN DAN INDUSTRI FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS GADJAH MADA Jl. Grafika No. 2, Kampus UGM Yogyakarta, 55281 Telp. (0274) 521673, Fax. (0274) 521673
---	--

No. : /Lab Bahan Teknik/ITMI/UGM/2016.
 Lamp. :
 Hal : SURAT KETERANGAN.

SURAT KETERANGAN

Kami selaku pengelola Laboratorium Bahan Teknik Jurusan Teknik Mesin dan Industri Universitas Gajah Mada menerangkan bahwa mahasiswa tersebut di bawah ini :

Nama : Muhammad Rifki Erza Pradana
NIM : 5201412086
Program Studi : Pendidikan Teknik Mesin-S1 UNNES

Telah bebas dari segala tanggungan di laboratorium kami, dan telah selesai melakukan penelitian pada 21 Juli 2016 dalam rangka pembuatan/penyusunan Tugas akhir dengan judul :

" Pengaruh Preheat Terhadap Sifat Fisis dan Mekanik Pada Sambungan Las GMAW untuk Baja karbon Tinggi dan Stainless Steel"

Demikian surat keterangan ini di buat dengan sebenar-benarnya, untuk dimanfaatkan sebagaimana mestinya.

Yogyakarta, 21 Juli 2016
 Teknisi Laboratorium
 Lab. Bahan Teknik UGM


 Sunthia
 NIP: 196506041986121001

Lampiran 6. Surat Keterangan Welder

2555734



**BADAN NASIONAL
SERTIFIKASI PROFESI**
INDONESIAN PROFESSIONAL
CERTIFICATION AUTHORITY
No. 00289.0721.0004215.2015

**SERTIFIKAT KOMPETENSI
CERTIFICATE OF COMPETENCE**

Dengan ini menyatakan bahwa,
This is to certify that,

Agus Prasetyo

No. Reg. JIP 024.0000729.2015

Telah kompeten pada Bidang :
Is competent in the area of :

Jasa Industri Pengelasan

Dengan Kualifikasi / Kompetensi :
with Qualification/Competency :

Welding Inspector (WI)

Transkrip Unit Kompetensi dapat dilihat disebelah .
For Transcript of Competency Units, see beside .

Sertifikat ini berlaku untuk : 3 (tiga) tahun
This certificate is valid for : 3 (three) years

Jakarta, 30 Desember 2015

A. II. KETUA BADAN NASIONAL SERTIFIKASI PROFESI
DIREKTUR LEMBAGA SERTIFIKASI PROFESI LAS
O. B. HEAD OF NATIONAL BOARD FOR PROFESSIONAL CERTIFICATION
DIRECTOR OF PROFESSIONAL CERTIFYING BODY FOR WELDING



Susilo Prawirohartono

Lampiran 7. Dokumentasi**Proses pengujian tarik di ugm****Hasil proses pengelasan *GMAW* dan Proses Pembuatan Kampuh sudut 30°**



Hasil Proses Pembuatan Kampuh Sudut 30°



Proses Preheating Treatment



Proses Pengelasan dengan mesin GMAW



Proses Awal Pengelasan Titik dan Proses Pemotongan Spesimen Uji Tarik



Proses Pengujian Tarik di Laboratorium Metalurgi Universitas Negeri Semarang