



PENGARUH *VOLTAGE* PADA *GAS METAL ARC WELDING (GMAW)* TERHADAP STRUKTUR MIKRO DAN TEGANGAN LENTUR (*FACE AND ROOT*) *EMS 45* DENGAN SAMBUNGAN KAMPUH V

SKRIPSI

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

oleh
Dian Ratnasari
5201412011

UNNES
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

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

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh:

Nama : Dian Ratnasari
NIM : 5201412011
Program Studi : Pendidikan Teknik Mesin S1
Judul Skripsi : Pengaruh *Voltage* pada *Gas Metal Arc Welding (GMAW)* terhadap Struktur Mikro dan Tegangan Lentur (*Face and Root*) EMS 45 dengan Sambungan Kampuh V

Telah dipertahankan di depan Dewan Penguji dan diterima sebagai persyaratan memperoleh gelar Sarjana Pendidikan pada Program Studi Pendidikan Teknik Mesin S1, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang.

Panitia Ujian

		Tanda Tangan	Tanggal
Ketua	: Rusiyanto, S.Pd., M.T. NIP. 197403211999031002	()	27/07/2016
Sekretaris	: Rusiyanto, S.Pd., M.T. NIP. 197403211999031002	()	27/07/2016

Dewan Penguji

Pembimbing I	: Rusiyanto, S.Pd., M.T. NIP. 197403211999031002	()	27/07/2016
Pembimbing II	: Dr. Basyirun, S.Pd., M.T. NIP. 196809241994031002	()	27/07/2016
Penguji	: Drs. Masugino, M.Pd. NIP. 195207211980121001	()	27/07/2016

Ditetapkan tanggal:

Mengesahkan
UNNES
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG
Drs. Nur Qudus, M.T.
NIP. 196911301994031001

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama Mahasiswa : Dian Ratnasari

NIM : 5201412011

Program Studi : Pendidikan Teknik Mesin S1

Fakultas : Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang

Dengan ini menyatakan bahwa skripsi dengan judul "**Pengaruh Voltage pada Gas Metal Arc Welding (GMAW) terhadap Struktur Mikro dan Tegangan Lentur (Face and Root) EMS 45 dengan Sambungan Kampuh V**" 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, Mei 2016

Yang membuat pernyataan

UNNES
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG



Dian Ratnasari
NIM. 5201412011

ABSTRAK

Ratnasari, Dian. 2016. Pengaruh *Voltage* pada *Gas Metal Arc Welding (GMAW)* terhadap Struktur Mikro dan Tegangan Lentur (*Face and Root*) *EMS 45* dengan Sambungan Kampuh V. Rusiyanto, S.Pd., M.T, Dr. Basyirun, S.Pd., M.T. PTM.

Proses pengelasan mengalami pemanasan yang menyebabkan terjadinya perubahan sifat fisis yang berpengaruh terhadap sifat mekanis dari *raw material*. Adanya perubahan sifat tersebut maka akan terjadi perubahan kekuatan hasil las yang menyebabkan terjadinya keretakan dan patah pada sambungan, sehingga berpengaruh terhadap keamanan dari konstruksi mesin. Posisi pemasangan sambungan las juga berpengaruh terhadap keamanan pada konstruksi mesin karena setiap pengelasan memiliki permukaan dan akar yang luas penampangnya tidak sama sehingga kekuatannya juga berbeda. Pembekuan cairan hasil pengelasan biasanya hanya sampai leher kampuh sehingga pada akar las tidak terjadi penembusan. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh variasi *voltage* pada *GMAW* terhadap struktur mikro dan tegangan lentur secara *face* dan *root bend EMS 45* dengan sambungan kampuh V.

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 *voltage*. Pengelasan dilakukan dengan metode *GMAW (Gas Metal Arc Welding)* pada baja *EMS 45* dengan bahan pengisi/*filler ER70S (AWS A5.18)* dengan kampuh V 70°. Variasi *voltage* yang digunakan dalam penelitian ini adalah 24 Volt, 25 Volt, dan 26 Volt, kemudian di uji dengan menggunakan foto mikro dan *bending* secara *face* dan *root bend*. Analisis data yang digunakan pada penelitian ini adalah analisis deskriptif, dimana data yang diperoleh di rata-rata dan disajikan dalam bentuk grafik kemudian dideskripsikan dan disimpulkan.

Hasil penelitian struktur mikro pada *voltage* 24 Volt dan 25 Volt lebih dominan *ferit* sehingga lebih ulet, sedangkan pada *voltage* 26 Volt lebih dominan *perlit* sehingga lebih getas. Berdasarkan uji *bending* diperoleh nilai tegangan lentur sebesar 996,8 N/mm² pada *voltage* 24 Volt secara *face bend* dan 909 N/mm² secara *root bend*. Nilai tegangan lentur pada *voltage* 25 Volt sebesar 1115,3 N/mm² secara *face bend* dan 859,3 N/mm² secara *root bend*, sedangkan nilai tegangan lentur pada *voltage* 26 Volt secara *face* sebesar 1191,6 N/mm² dan *root* sebesar 897,5 N/mm². Tegangan tertinggi rata-rata sebesar 1191,6 N/mm² pada *voltage* 26 Volt secara *face bend*, dan nilai tegangan terendah rata-rata sebesar 859,3 N/mm² pada *voltage* 25 Volt secara *root bend*. Berdasarkan nilai tegangan lentur tersebut disimpulkan bahwa tegangan lentur secara *face bend* lebih besar dibandingkan *root bend*.

Kata kunci: *voltage, GMAW, struktur mikro, tegangan lentur, face bend, root bend, EMS 45, kampuh V.*

MOTTO DAN PERSEMBAHAN

MOTTO

1. Berhasil karena doa ibu yang didengar.
2. Kegagalan dan semangat akan dekat dengan kesuksesan.
3. Belajar dari masa lalu dan masa sekarang untuk masa depan yang lebih baik.

PERSEMBAHAN

Karya ini saya persembahkan untuk:

1. Ibu Rusmiani dan Bapak Mokhamad Ikhsan, orang tua yang selalu memotivasi dan mendoakan tanpa batas.
2. Mas Bajang dan Dek Ilena Ata, keluarga kedua di kota perantauan yang telah banyak membantu.
3. Sahabat dan teman-teman di Universitas Negeri Semarang yang membantu dan mendukung.

KATA PENGANTAR

Segala puji bagi Allah SWT atas rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyusun skripsi dengan judul “Pengaruh *Voltage* pada *Gas Metal Arc Welding (GMAW)* terhadap Struktur Mikro dan Tegangan Lentur (*Face and Root*) EMS 45 dengan Sambungan Kampuh V”. 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 terimakasih kepada:

1. Ketua Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang.
2. Rusiyanto, S.Pd., M.T., selaku dosen pembimbing I yang telah memberikan bimbingan dan masukan kepada penulis dalam penyusunan skripsi.
3. Dr. Basyirun, S.Pd., M.T., 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. Teman-teman yang telah banyak membantu dan memberikan motivasi kepada penulis dalam penyusunan skripsi.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa skripsi ini masih banyak kekurangan, 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, Mei 2016

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
HALAMAN PERNYATAAN	iii
ABSTRAK.....	iv
MOTTO DAN PERSEMBAHAN	v
PRAKATA.....	vi
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR SIMBOL DAN SINGKATAN.....	ix
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
A. Latar Belakang Masalah	1
B. Identifikasi Masalah	3
C. Pembatasan Masalah	4
D. Rumusan Masalah	5
E. Tujuan Penelitian	5
F. Manfaat Penelitian	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	7
A. Kajian Teori	7
B. Penelitian Relevan.....	30
C. Kerangka Pikir	34
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	35
A. Jenis Penelitian.....	35
B. Variabel Penelitian.....	35
C. Bahan Penelitian	36
D. Alat Penelitian.....	36
E. Prosedur Penelitian	37
F. Lokasi Penelitian	42
G. Teknik Pengumpulan Data.....	43
H. Teknik Analisis Data.....	43

BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN.....	45
A. Hasil Penelitian	45
B. Pembahasan.....	55
BAB V PENUTUP.....	60
A. Simpulan	60
B. Saran.....	60
DAFTAR PUSTAKA	62
LAMPIRAN.....	64



DAFTAR SIMBOL DAN SINGKATAN

Simbol	Arti
α	Alfa
$^{\circ}$	Derajat
$^{\circ}\text{C}$	Derajat Celcius
$<$	Kurang Dari
$>$	Lebih dari
$-$	Negatif
$+$	Positif
$\%$	Persen
μm	Mikro meter
Al	Aluminium
b	Lebar
C	Karbon
Cr	Krom
Cu	Tembaga
Fe	<i>Ferrous</i>
h	Tebal
Kg	Kilogram
L	Jarak
mm	Millimeter
Mn	Mangan
N	Newton
Ni	Nikel
P	Fosfor
P	Beban
r	Radius
S	Sulfur
Si	Silikon
t	Tebal



W Moment inertia

Singkatan

Arti

AC	<i>Alternating Curent</i>
AISI	<i>American Iron and Steel Institute</i>
AWS	<i>American Welding Society</i>
Bcc	<i>Body centered cubic</i>
Bct	<i>Body centered tetragonal</i>
CCT	<i>Continuous Cooling Transformation</i>
DC	<i>Direct Curent</i>
DCEP	<i>Direct Current Electrode Positive</i>
EMS	<i>Engineering Mild Steel</i>
FCAW	<i>Flux Core Arc Welding</i>
Fcc	<i>Face centered cubic</i>
FSW	<i>Friction Stir Welding</i>
GMAW	<i>Gas Metal Arc Welding</i>
HAZ	<i>Heat Affected Zone</i>
JIS	<i>Japan Industrial Standards</i>
MAG	<i>Metal Active Gas</i>
MIG	<i>Metal Inert Gas</i>
SAW	<i>Submerged Arc Welding</i>
SMAW	<i>Shielding Metal Arc Welding</i>
St	<i>Steel</i>
UHP	<i>Ultra High Purity</i>

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Standar parameter arus dan tegangan pada pengelasan <i>GMAW</i>	11
Tabel 2.2	Penggunaan mesin las untuk beberapa logam.....	15
Tabel 2.3	Klasifikasi baja karbon.....	17
Tabel 2.4	Kandungan baja <i>AISI</i> 1045 atau <i>EMS</i> 45	18
Tabel 2.5	Komposisi <i>EMS</i> 45	18
Tabel 3.1	Lembar pengamatan tegangan lentur sebelum pengelasan	42
Tabel 3.2	Lembar pengamatan tegangan lentur setelah pengelasan	42
Tabel 4.1	Hasil perhitungan tegangan lentur sebelum pengelasan	53
Tabel 4.2	Hasil perhitungan tegangan lentur setelah pengelasan	53



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	<i>Terminologi GMAW</i>	8
Gambar 2.2	Las busur gas	13
Gambar 2.3	Klasifikasi las busur gas	14
Gambar 2.4	Diagram rangkaian listrik dari mesin las listrik <i>DC</i>	15
Gambar 2.5	Siklus termal dalam las busur tangan	16
Gambar 2.6	Struktur mikro baja karbon sedang	19
Gambar 2.7	Temperatur dan fasa yang terjadi pada daerah pengelasan	20
Gambar 2.8	Diagram keseimbangan besi karbon	21
Gambar 2.9	Struktur mikro baja karbon	23
Gambar 2.10	Pengujian <i>bending</i>	26
Gambar 2.11	Metode tekan pada <i>bending</i>	26
Gambar 2.12	<i>Face bend</i> pada transversal <i>bending</i>	27
Gambar 2.13	<i>Root bend</i> pada transversal <i>bending</i>	27
Gambar 2.14	<i>Side bend</i> pada transversal <i>bending</i>	28
Gambar 2.15	<i>Face bend</i> pada longitudinal <i>bending</i>	28
Gambar 2.16	<i>Root bend</i> pada longitudinal <i>bending</i>	28
Gambar 2.17	Kerangka pikir.....	34
Gambar 3.1	Diagram alir penelitian.....	37
Gambar 3.2	Bentuk spesimen dengan kampuh V	38
Gambar 3.3	Ukuran spesimen.....	39
Gambar 3.4	Spesimen struktur mikro <i>EMS 45</i> dan spesimen struktur mikro hasil pengelasan	40
Gambar 3.5	Skema pengujian lentur pada <i>EMS 45</i> , secara <i>face bend</i> , dan secara <i>root bend</i>	41
Gambar 4.1	Struktur mikro baja karbon sedang	45
Gambar 4.2	Foto mikro <i>raw material</i> (pembesaran 100x)	46
Gambar 4.3	Foto mikro logam induk <i>voltage 24 Volt</i> (pembesaran 100x)	46

Gambar 4.4	Foto mikro logam induk <i>voltage</i> 25 Volt (pembesaran 100x)	47
Gambar 4.5	Foto mikro logam induk <i>voltage</i> 26 Volt (pembesaran 100x)	48
Gambar 4.6	Foto mikro logam las <i>voltage</i> 24 Volt (pembesaran 100x)	48
Gambar 4.7	Foto mikro logam las <i>voltage</i> 25 Volt (pembesaran 100x)	49
Gambar 4.8	Foto mikro logam las <i>voltage</i> 26 Volt (pembesaran 100x)	50
Gambar 4.9	Foto mikro daerah <i>HAZ</i> <i>voltage</i> 24 Volt (pembesaran 100x)	50
Gambar 4.10	Foto mikro daerah <i>HAZ</i> <i>voltage</i> 25 Volt (pembesaran 100x)	51
Gambar 4.11	Foto mikro daerah <i>HAZ</i> <i>voltage</i> 26 Volt (pembesaran 100x)	52
Gambar 4.12	Hubungan <i>voltage</i> dengan tegangan lentur maksimal secara <i>face bend</i>	54
Gambar 4.13	Hubungan <i>voltage</i> dengan tegangan lentur maksimal secara <i>root bend</i>	54
Gambar 4.14	Hasil spesimen yang getas	59

DAFTAR LAMPIRAN

1. Foto-foto kegiatan	64
2. Sertifikat baja <i>EMS</i> 45	66
3. Sertifikat kompetensi las	67
4. Surat keterangan penelitian di BLKI Semarang.....	68
5. Surat keterangan penelitian di Teknik Mesin S1 UGM.....	69
6. Hasil perhitungan persamaan kuadrat dalam Excel	70
7. Hasil perhitungan tegangan lentur	71



BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang Masalah

Proses pengelasan mengalami pemanasan yang menyebabkan terjadinya perubahan struktur atau sifat fisis bahan. Perubahan sifat fisis tersebut akan berpengaruh terhadap perubahan sifat mekanis pada *raw material*. Adanya perubahan sifat tersebut maka akan terjadi perubahan kekuatan hasil las yang menyebabkan terjadinya keretakan dan patah pada sambungan, sehingga berpengaruh terhadap keamanan dari konstruksi mesin. Penempatan posisi pemasangan juga berpengaruh terhadap keamanan pada konstruksi mesin karena setiap pengelasan memiliki permukaan dan akar yang luas penampangnya tidak sama sehingga kekuatannya juga berbeda. Panas dalam pengelasan bersumber dari gabungan antara *voltage*, arus, dan kecepatan yang menjadi pengaruh terhadap kualitas hasil las.

Voltage merupakan salah satu parameter yang utama dalam masukan panas saat pengelasan. Kekuatan sambungan yang tinggi membutuhkan penembusan atau penetrasi yang cukup yang dihasilkan dari masukan panas las. Pada dasarnya *voltage* akan menyebabkan terjadinya penembusan las. Salah satu konstruksi yang membutuhkan penembusan las yang besar yaitu bejana bertekanan (ketel uap) karena dengan adanya penembusan yang besar mengakibatkan las bagian dalam semakin besar. Apabila las bagian dalam besar maka las bagian luar akan lebih semakin besar, sehingga berpengaruh besar pula terhadap kekuatan hasil

pengelasan. Proses pengelasan juga berpengaruh terhadap hasil las, semakin banyak panas yang masuk maka semakin meningkatkan kekuatan bahan. Proses pengelasan logam yang dibutuhkan oleh industri manufaktur salah satunya adalah las busur gas (*GMAW*).

Proses pengelasan yang mampu mengalirkan panas yang besar yaitu las listrik, sedangkan yang mampu mengalirkan panas besar dengan laju kecepatan yang tinggi yaitu las listrik gas atau *GMAW* (*Gas Metal Arc Welding*). Pengelasan *GMAW* memiliki konsentrasi busur yang tinggi dan elastisitas yang lebih baik daripada yang dihasilkan dengan cara pengelasan yang lain (Wiryo Sumarto, H., dan Okumura, T., 2000: 224). Las *GMAW* merupakan las busur yang terbentuk antara logam induk dengan ujung elektroda yang mencair secara bersama akibat masukan panas. Proses las busur berbeda dengan las tahanan dimana logam yang akan disambungkan dijepit oleh elektroda kemudian dialiri arus listrik. Aliran listrik antara kedua elektroda harus melalui logam yang dijepit, sehingga pada jepitan tersebut timbul panas yang menyebabkan logam pada jepitan mencair dan tersambung.

Kualitas hasil pengelasan yang baik tidak hanya dipengaruhi parameter yang digunakan, tetapi juga dipengaruhi oleh bahan yang digunakan. Salah satu bahan yang memiliki sifat mampu las yang baik adalah baja karbon. Baja karbon memiliki spesifikasi yang bervariasi, namun yang sering mengalami keretakan pada hasil pengelasan adalah baja karbon sedang dan baja karbon tinggi karena sifat bahan yang keras dan kuat. Pengelasan yang menggunakan teknik las yang sama kuat dengan logam lasnya akan mudah mengalami patahan. Pada umumnya

bangunan konstruksi yang dilakukan dengan proses pengelasan sering mengalami kerusakan saat menerima pembebanan seperti patahan, melentur, cacat atau kerusakan yang tidak diinginkan pada daerah bagian sambungan las.

Untuk mengetahui perubahan sifat fisis dan sifat mekanis pada baja karbon sedang, maka dilakukan pengujian struktur mikro dan *bending test* pada *raw material* dan hasil pengelasan dengan *voltage* yang divariasikan. Pada hasil pengelasan memiliki posisi *face* dan *root* yang harus diujikan untuk memperoleh perbandingan kekuatan *bending* yang lebih besar untuk menentukan posisi pemasangan pada konstruksi mesin. Berdasarkan uraian diatas, maka peneliti akan melakukan penelitian dengan judul “Pengaruh *Voltage* pada *Gas Metal Arc Welding (GMAW)* terhadap Struktur Mikro dan Tegangan Lentur *Face Root Bend EMS 45* dengan Sambungan Kampuh V”.

B. Identifikasi Masalah

Parameter dalam proses pengelasan yang menyebabkan perubahan sifat dan kekuatan antara lain proses pengelasan, *voltage*, arus, kecepatan las, gerakan elektroda, posisi pengelasan, aliran gas, sudut alat pembakar, dan jarak antara lubang gas dengan logam induk. Proses pengelasan berdasarkan listrik akan mengalirkan panas yang lebih besar dibandingkan dengan proses pengelasan berdasarkan gas sehingga kekuatan hasil las akan meningkat.

Voltage tinggi menghasilkan sambungan mentah sehingga tidak ada fusi antara bahan las dan benda kerja dan penetrasi tidak sempurna menyebabkan kekuatan bahan menurun, sedangkan *voltage* rendah penetrasi tidak sempurna

karena tidak sampai pada las bagian dalam. Arus yang terlalu tinggi mengakibatkan penurunan kekuatan hasil pengelasan, arus yang sangat rendah menyebabkan penetrasi yang dangkal dan mengurangi kekuatan las. Kecepatan las yang sangat cepat juga akan menurunkan kekuatan karena penetrasi belum sampai dalam, dan apabila terlalu lambat juga mengurangi kekuatan hasil las akibat penetrasi yang kurang. Gerakan elektroda yang menggunakan pola lebih rumit menyebabkan panas yang masuk lebih besar sehingga kekuatan bahan juga akan mengalami peningkatan dibandingkan gerakan elektroda melingkar maupun zig-zag. Posisi pengelasan di bawah tangan (*down hand position*) akan menghasilkan panas yang lebih besar dibandingkan posisi di atas tangan (*over head position*) karena ketika pengelasan berlangsung terjadi gravitasi sehingga kekuatan hasil las juga akan semakin meningkat. Pengelasan mengakibatkan perubahan sifat fisis berupa perubahan pada struktur mikro *raw material*. Perubahan struktur tersebut menyebabkan perubahan mekanis seperti perubahan tegangan, regangan, kelenturan, kekuatan tarik, kekakuan, keuletan, ketangguhan, kekerasan, *elastisitas*, dan *plastisitas*.

C. Pembatasan Masalah

Banyaknya dampak pengelasan yang mempengaruhi perubahan sifat fisis dan sifat mekanis, maka peneliti membatasi masalah dengan melakukan variasi *voltage* sebesar 24 Volt, 25 Volt, dan 26 Volt, besar arus 151 Ampere, kecepatan 20 cm/menit, dan pengujian yang dilakukan yaitu uji struktur mikro dan *bending test* pada *raw material EMS 45*, kemudian melakukan pengujian struktur mikro

dan *bending test* secara *face* dan *root bend* pada hasil pengelasan yang disambung menggunakan kampuh V melalui proses pengelasan *GMAW* dengan gas pelindung argon, pengisi atau *filler* yang digunakan ER70S (AWS A5.18), menggunakan arus listrik *DC* (+) dengan polaritas lurus atau *DCEP* (*Direct Current Electrode Positive*) jarak elektroda dengan benda kerja 3 mm.

D. Rumusan Masalah

Berdasarkan pembatasan masalah di atas, rumusan masalah yang akan dikaji dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana pengaruh variasi *voltage* 24 Volt, 25 Volt, dan 26 Volt pada *GMAW* terhadap struktur mikro *EMS* 45 dengan sambungan kampuh V?
2. Seberapa besar pengaruh variasi *voltage* 24 Volt, 25 Volt, dan 26 Volt pada *GMAW* terhadap tegangan lentur secara *face* dan *root bend* *EMS* 45 dengan sambungan kampuh V?

E. Tujuan Penelitian

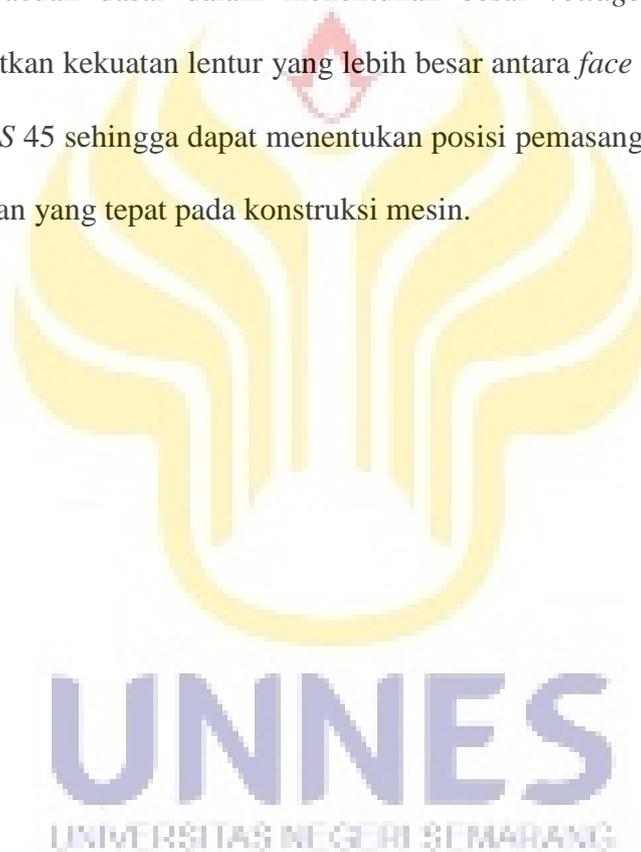
Tujuan penelitian berdasarkan rumusan masalah yang dikaji adalah sebagai berikut:

1. Untuk mengetahui pengaruh variasi *voltage* pada *GMAW* terhadap struktur mikro *EMS* 45 dengan sambungan kampuh V.
2. Untuk mengetahui pengaruh variasi *voltage* pada *GMAW* terhadap tegangan lentur secara *face* dan *root bend* *EMS* 45 dengan sambungan kampuh V.

F. Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian berdasarkan tujuan penelitian adalah:

1. Sebagai acuan dalam menentukan besar *voltage* yang tepat untuk mendapatkan struktur yang baik pada *EMS 45* yang bisa diaplikasikan untuk pemasangan sambungan las yang membutuhkan penembusan las yang besar.
2. Sebagai acuan dasar dalam menentukan besar *voltage* yang tepat untuk mendapatkan kekuatan lentur yang lebih besar antara *face bend* atau *root bend* pada *EMS 45* sehingga dapat menentukan posisi pemasangan hasil sambungan pengelasan yang tepat pada konstruksi mesin.



BAB II

KAJIAN PUSTAKA

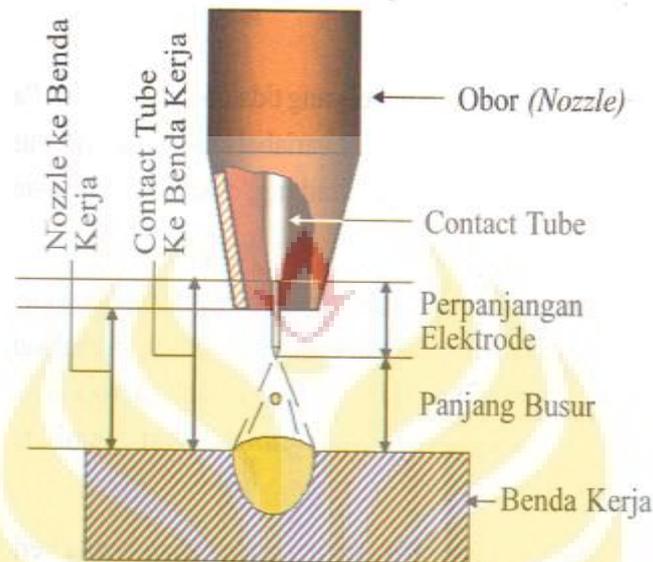
A. Kajian Teori

1. *GMAW (Gas Metal Arc Welding)*

GMAW (Gas Metal Arc Welding) atau yang sering disebut dengan las busur gas adalah cara pengelasan dimana gas dihembuskan ke daerah las untuk melindungi busur dan logam yang mencair terhadap atmosfer. Gas yang digunakan sebagai pelindung adalah gas helium (He), gas argon (Ar), gas karbondioksida (CO₂) atau campuran dari gas-gas tersebut (Wirjosumarto, H., dan Okumura, T., 2000: 16). Menurut Widharto, S. (2007: 142) menyatakan bahwa *GMAW (Gas Metal Arc Welding)* merupakan proses las listrik yang menggunakan busur listrik yang berasal dari elektroda yang dipasok terus-menerus secara tetap dari suatu mekanisme ke kolam las.

Pengelasan *GMAW* dilindungi oleh aliran gas lindung yang dapat berupa gas aktif misalnya karbondioksida (CO₂), sehingga disebut *Metal Active Gas (MAG)* atau gas argon (Ar) sehingga disebut *Metal Inert Gas (MIG)*. Beberapa keunggulan dari *GMAW* yaitu laju pendinginan metal lebih tinggi, kecepatan las lebih tinggi dan menghasilkan penetrasi lebih dalam apabila menggunakan teknik nyala sembur. Salah satu kerugian penggunaan *GMAW* adalah radiasi panas yang sangat tinggi. *GMAW* menggunakan arus tetap dan kecepatan pasok kawat yang tetap, maka apabila posisi obor bergerak menjauh, elektroda akan memanjang

keluar dan amperenya juga akan naik, sehingga panjang busur nyala akan selalu tetap (Widharto, S., 2007: 142-143).



Gambar 2.1 Terminologi GMAW
Sumber: (Widharto, S., 2007: 151).

Gas Metal Arc Welding (GMAW) digunakan dalam penelitian ini karena las tersebut mampu mengalirkan panas yang lebih besar akibat konsentrasi busur yang tinggi dan elastisitas yang lebih baik daripada yang dihasilkan dengan cara pengelasan yang lain. Berdasarkan jenis pengelasan *GMAW*, las *MIG* digunakan sebagai proses pengelasan dalam penelitian ini karena sesuai dengan bahan yang digunakan yaitu baja karbon sedang. Penggunaan gas pelindung Argon (Ar) menyebabkan busur listrik lebih stabil sehingga mengurangi percikan. Apabila menggunakan gas Ar hasil las akan berwarna biru, sedangkan apabila menggunakan gas CO₂ hasil lasan akan berwarna hitam sehingga dapat disimpulkan bahwa gas Ar akan menghasilkan las-lasan yang lebih baik.

a. Standar parameter pengelasan MIG

Penggunaan masukan panas dalam *Metal Inert Gas (MIG)* sangat luas sehingga diperlukan pengaturan parameter yang tepat dan sesuai dengan penggunaan. Menurut Kamal, A (2014) parameter-parameter yang berpengaruh dalam pengelasan *MIG* diantaranya adalah sebagai berikut:

i. Arus listrik

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

ii. Kecepatan las

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

iii. Gas pelindung

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

peningkatan kecepatan volume alir gas sehingga tekanan yang didapat meningkat. Tingginya penekanan pada manik las dapat memperbaiki penguatan manik dan memperkecil terjadinya rongga-rongga halus pada lasan.

iv. Elektroda

Elektroda yang digunakan pada pengelasan *MIG* yaitu elektroda terumpan yang berfungsi sebagai pencipta busur nyala dan juga sebagai logam pengisi. Besar kecilnya ukuran elektroda tergantung pada bahan yang digunakan dan ukuran tebal bahan.

v. Polaritas listrik

Sumber listrik yang digunakan berupa listrik *AC* atau listrik *DC* dengan rangkaian listriknya dengan polaritas lurus dimana katup positif dihubungkan dengan logam induk dan katup negatif dihubungkan dengan batang elektroda. Rangkaian listrik polaritas lurus cocok untuk arus listrik yang besar. Pengaruh dari rangkaian ini adalah penetrasi yang dalam dan sempit, sedangkan polaritas terbalik penetrasi yang terjadi dangkal dan lebar karena elektron bergerak dari logam induk menumbuk elektroda sehingga elektroda menjadi panas.

Berdasarkan penjelasan parameter pengelasan diatas, pengaruh masukan panas paling utama selain arus las dan kecepatan yaitu tegangan las. Wiryosumarto, H., dan Okumura, T., (2000: 225) menyatakan bahwa tegangan atau *voltage* yang semakin besar maka semakin panjang busur yang terjadi dan semakin tidak terpusat, sehingga panasnya melebar dan menghasilkan

penetrasi yang lebar dan dangkal. Berdasarkan teori tersebut dapat disimpulkan bahwa arus las berbanding lurus dengan kecepatan dan berbanding terbalik dengan tegangan las. Apabila arus las dan kecepatannya dinaikkan, tegangan las tidak diturunkan untuk mencapai hasil yang baik. Banyaknya parameter las diatas peneliti menggunakan tegangan las (*voltage*) sebagai variasi dalam penelitian ini karena pada dasarnya tegangan listrik menjadi parameter yang paling utama untuk memperoleh panas.

Menurut Kosasih, W., dkk (2015) standar parameter pengelasan diantaranya dijelaskan dalam tabel berikut:

Tabel 2.1 Standar parameter arus dan tegangan pada pengelasan *GMAW*

Diameter kawat	Arus (A)	Tegangan (V)	Tebal (mm)
0,8	60-150	14-22	0,8-2,0
0,9	150-220	22-25	2,0-10
1,0	220-290	25-29	10-18
1,2	290-350	29-32	18-25

Sumber: Kosasih, W., dkk (2015)

Tabel 2.1 diatas digunakan sebagai acuan dasar dalam menentukan besar parameter yang digunakan dalam penelitian ini.

b. *Voltage* atau tegangan busur las

Menurut Wiryosumarto, H., dan Okumura, T., (2000: 225) bahwa kekuatan sambungan yang tinggi diperlukan penembusan atau penetrasi yang cukup. Besarnya penembusan tergantung pada sifat-sifat fluks, polaritas, besarnya arus, kecepatan las, dan tegangan yang digunakan. Semakin besar arus maka semakin besar daya tembusnya. Tegangan atau *voltage* yang semakin besar maka semakin panjang busur yang terjadi dan semakin tidak terpusat, sehingga panasnya melebar dan menghasilkan penetrasi yang lebar

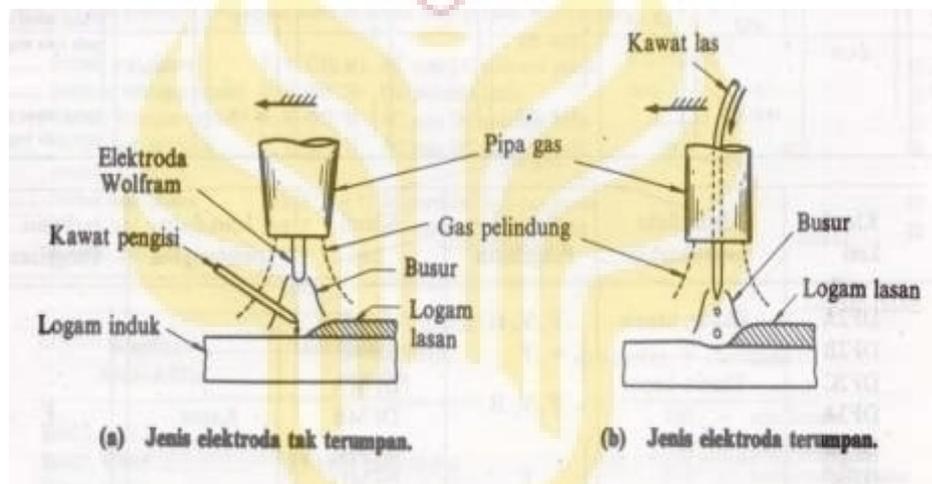
dan dangkal. Ada pengecualian terhadap beberapa elektroda khusus untuk penembusan dalam yang memang memerlukan tegangan tinggi. Pada kecepatan tertentu, naiknya kecepatan akan memperdalam penembusan, tetapi melampaui kecepatan tersebut penembusan akan turun dengan naiknya kecepatan.

Menurut Widharto, S. (2007: 145) apabila busur terlalu pendek (*voltage* rendah), bola-bola metal cair akan terlalu dekat dengan benda kerja sehingga suhu terlalu panas (*overheated*) akibatnya *globular* pecah dan menghasilkan percikan las yang banyak. Busur harus cukup panjang agar bola-bola metal bahan las mencapai kolam las dengan baik. Pengelasan dengan *voltage* terlalu tinggi justru menghasilkan sambungan mentah sehingga tidak ada fusi antara bahan las dan benda kerja, penetrasi tidak sempurna, dan kontur terlalu menonjol.

Penggunaan tinggi rendahnya *voltage* tersebut digunakan dalam pengelasan dengan sistem transfer *globular* yang menggunakan arus searah dengan electrode pada posisi positif (*DCEP*). *Voltage* atau tegangan busur las merupakan parameter yang akan digunakan peneliti sebagai variasi dalam penelitian untuk mendapatkan besar *voltage* yang tepat sehingga mendapatkan kekuatan yang besar. *Voltage* diperlukan untuk mendapatkan penembusan yang besar karena dengan adanya penembusan yang besar akan meningkatkan kekuatan hasil las.

c. Penggunaan elektroda dan arus listrik

Wirjosumarto, H., dan Okumura, T., (2000: 16) menyatakan bahwa las busur dibagi dalam dua kelompok besar yaitu kelompok elektroda tak terumpan dan kelompok elektroda terumpan. Kelompok elektroda tak terumpan menggunakan batang *wolfram* sebagai elektroda yang dapat menghasilkan busur listrik tanpa ikut mencair, sedangkan kelompok elektroda terumpan sebagai elektrodanya digunakan kawat las.

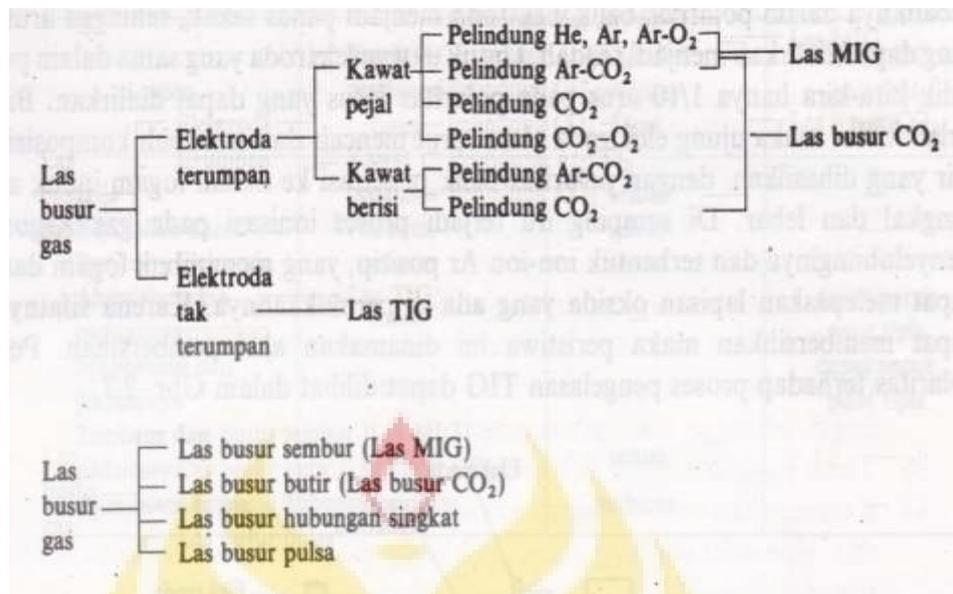


Gambar 2.2 Las busur gas

Sumber: (Wirjosumarto, H., dan Okumura, T., 2000: 16).

Elektroda yang digunakan dalam penelitian ini yaitu elektroda terumpan karena menggunakan kawat las yang menghasilkan busur listrik yang dipasok terus-menerus secara tetap.

Kelompok elektroda tak terumpan dibagi dua jenis yaitu dengan logam pengisi dan tanpa logam pengisi. Kelompok elektroda terumpan juga dibagi dalam dua jenis berdasarkan kawat elektrodanya, yaitu kawat elektroda pejal dan kawat elektroda dengan inti fluks (Wirjosumarto, H., dan Okumura, T., 2000: 16).

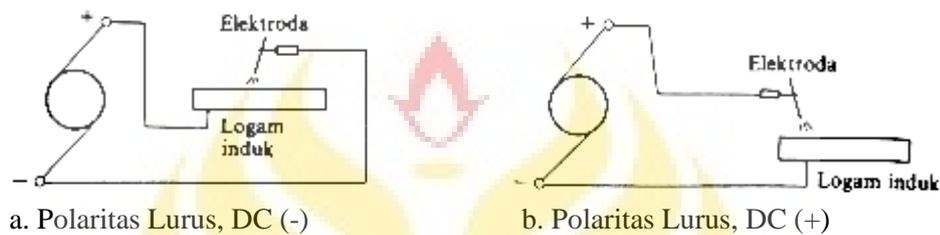


Gambar 2.3 Klasifikasi las busur gas
Sumber: (Wiryo Sumarto, H., dan Okumura, T., 2000: 17).

Pada saat ini umumnya gas pelindung yang digunakan berupa campuran dari gas Ar dan gas CO₂. Penelitian ini menggunakan las busur gas dengan elektroda terumpan dengan kawat pejal yang menggunakan gas pelindung Argon (Ar) karena bersifat oksidator yang akan mempercepat keausan ujung elektroda. Selain klasifikasi berdasarkan gas selubung digunakan juga klasifikasi berdasarkan sifat busur karena banyak sistem penyediaan sumber listrik yang dapat menghasilkan busur dengan sifat-sifat khusus. Penelitian ini menggunakan sifat busur berupa las busur sembur (las MIG).

Sumber listrik yang digunakan untuk pengelasan dapat menggunakan arus listrik DC dan listrik AC. Arus listrik DC rangkaian listriknya dapat dengan polaritas lurus dimana kutub positif dihubungkan dengan logam induk dan kutub negatif dengan elektroda atau rangkaian sebaliknya yang disebut polaritas terbalik. Polaritas lurus elektron bergerak dari elektroda dan menumbuk logam induk dengan kecepatan yang tinggi sehingga dapat terjadi

penetrasi yang dalam. Elektroda yang tidak terjadi tumbukan elektron maka secara relatif suhu elektroda tidak terlalu tinggi sehingga polaritas lurus dapat digunakan arus yang besar, sedangkan dalam polaritas balik elektroda menjadi panas sehingga arus listrik yang dapat dialirkan menjadi rendah (Wiryosumarto, H., dan Okumura, T., 2000: 17-18).



Gambar 2.4 Diagram rangkaian listrik dari mesin las listrik DC
Sumber: (Wiryosumarto, H., dan Okumura, T., 2000: 17).

Tabel 2.2 Penggunaan mesin las untuk beberapa logam

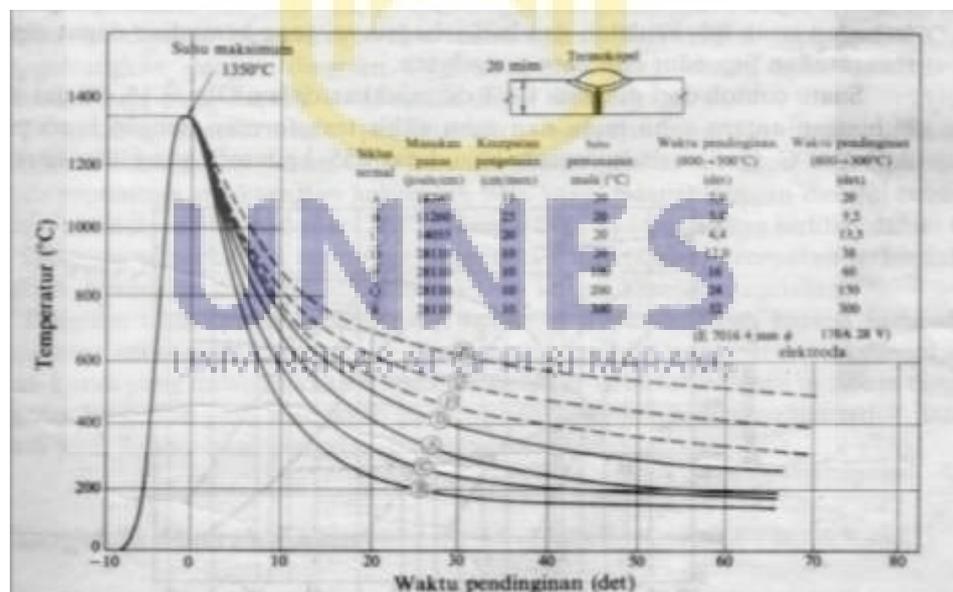
Logam	Listrik AC frekwensi tinggi	Listrik DC polaritas lurus	Listrik DC polaritas balik
Baja	Terbatas	Sesuai	–
Baja tahan karat	Terbatas	Sesuai	–
Besi cor	Terbatas	Sesuai	–
Aluminium dan paduannya	Sesuai	–	Dapat untuk pelat tipis
Magnesium dan paduannya	Sesuai	–	Dapat untuk pelat tipis
Tembaga dan paduannya	Terbatas	Sesuai	–
Aluminium brons	Sesuai	Terbatas	–

Sumber: (Wiryosumarto, H., dan Okumura, T., 2000: 19).

Berdasarkan Gambar 2.6 tentang diagram rangkaian listrik dari mesin las listrik DC dan Tabel 2.3 tentang penggunaan mesin las untuk beberapa logam diatas, maka penelitian ini menggunakan arus listrik DC (+) dengan polaritas lurus atau *DCEP (Direct Current Electrode Positive)* karena sesuai dengan logam yang digunakan dalam penelitian yaitu baja karbon.

d. Siklus termal daerah lasan

Daerah lasan terdiri dari 3 bagian yaitu logam lasan, daerah pengaruh panas atau *HAZ (Heat Affected Zone)*, dan logam induk yang tidak terpengaruh panas. Logam lasan merupakan bagian logam yang pada waktu pengelasan mencair dan kemudian membeku. Logam didaerah pengelasan mengalami siklus termal yaitu pencairan kemudian pembekuan yang menyebabkan terjadinya perubahan struktur dari material. Logam induk adalah bagian logam dasar dimana panas dan suhu pengelasan tidak menyebabkan terjadinya perubahan struktur dan sifat. Daerah pengaruh panas atau *HAZ (Heat Affected Zone)* adalah logam dasar yang bersebelahan dengan logam las yang selama proses pengelasan mengalami siklus termal pemanasan dan pendinginan cepat (Wirjosumarto, H., dan Okumara, T., 2000: 56).



Gambar 2.5 Siklus termal dalam las busur tangan
Sumber: (Wirjosumarto, H., dan Okumura, T., 2000: 59).

Gambar 2.5 merupakan salah satu contoh siklus termal di sekitar lasan dengan kondisi pengelasan yang berbeda. Waktu pendinginan dalam

temperatur menjadi pengaruh dalam kualitas sambungan. Logam induk, logam lasan, dan daerah pengaruh panas (*HAZ*) dalam siklus termal daerah lasan digunakan sebagai acuan dalam pengujian struktur mikro untuk mengetahui dimana batas dan letak dari ketiga daerah tersebut.

2. Baja Karbon Sedang

Baja karbon sedang mengandung banyak karbon dan unsur lain yang dapat meningkatkan kekerasan baja (Wiryosumarto, H. dan Toshie Okumura, 2000: 92). Menurut Salmon, C., G dan Johnson, J., E (1992: 48) presentase kandungan C pada baja karbon sedang berkisar antara 0,30-0,59%. Surdia, T dan Saito, S (2000: 96) menyatakan bahwa baja dengan kandungan karbon 0,3-0,5% merupakan baja konstruksi atau disebut baja *martensit*, semakin tinggi kadar karbon maka keliatan dan keuletan menjadi lebih rendah.

Tabel 2.3 Klasifikasi baja karbon

Jenis dan Kelas	Kadar Karbon (%)	Kekuatan Luluh (kg/mm ²)	Kekuatan Tarik (kg/mm ²)	Perpanjangan (%)	Kekerasan Brinell	Penggunaan
Baja karbon rendah	0,08	18-28	32-36	40-30	95-100	Pelat tipis
	0,08-0,12	20-29	36-42	40-30	80-120	Batang, kawat
	0,12-0,20	22-30	38-48	36-24	100-130	Konstruksi umum
	0,20-0,30	24-36	44-55	32-22	112-145	Konstruksi umum
Baja karbon sedang	0,30-0,40	30-40	50-60	30-17	140-170	Alat-alat mesin
	0,40-0,50	34-46	58-70	26-14	160-200	Perkakas
	0,50-0,80	36-47	65-100	20-11	180-235	Rel, pegas, dan kawat piano

Sumber: (Wiryosumarto, H., dan Okumura, T., 2000: 90).

Berdasarkan klasifikasi baja karbon diatas bahan yang akan digunakan untuk penelitian ini yaitu baja karbon sedang yang merupakan karakter material yang ulet dan sering digunakan untuk alat-alat mesin dan perkakas dengan kadar karbon 0,30-0,50 %, kekuatan luluh berkisar antara 30-46 kg/mm², perpanjangan yang terjadi antara 30-14 %.

Baja *EMS 45* merupakan golongan baja karbon sedang karena mengandung karbon 0,42% yang dijelaskan pada Tabel 2.4 dibawah ini:

Tabel 2.4 Kandungan baja *AISI 1045* atau *EMS 45*

C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	V	Al	Cu
0,42	0,23	0,71	0,011	0,010	0,35	0,02	0,04	0,01	-	0,06

(Bohler: Sertifikat Baja *AISI 1045* atau *EMS 45*).

Hadi, S. dkk. (2013) juga menyatakan bahwa baja *EMS 45* merupakan baja karbon sedang karena kandungan karbonnya sebesar 0,47%. Kandungan lainnya dijelaskan dalam Tabel 2.6 dibawah ini:

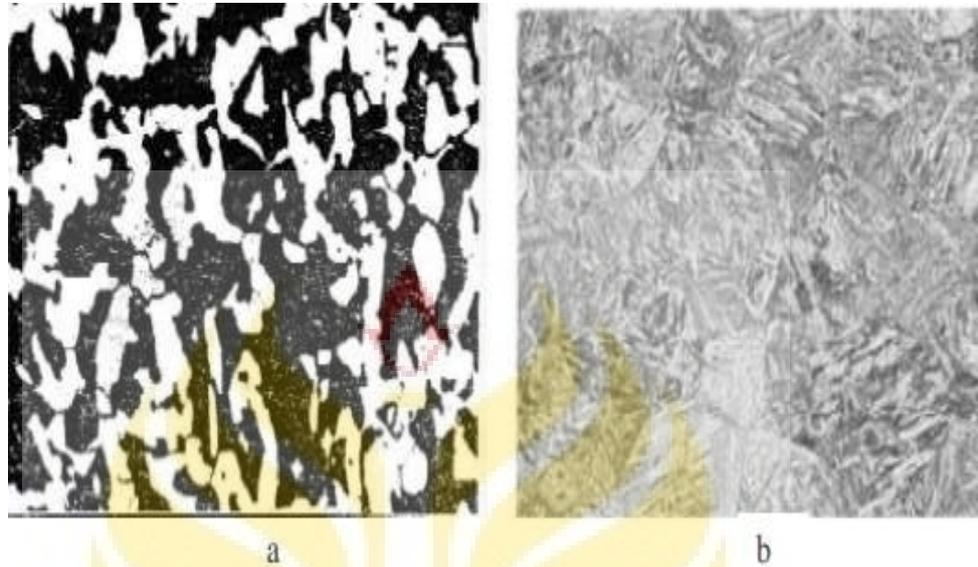
Tabel 2.5 Komposisi *EMS 45*

Material	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Cu
<i>EMS 45</i>	0,47 %	0,28 %	0,77 %	0,01 %	0,07 %	0,03 %	0,01 %	0,02 %

Sumber: (Hadi, S. dkk., 2013).

Komposisi kimia yang paling banyak dalam kandungan *EMS 45* adalah Mn sebesar 0,77 %. Kandungan yang paling besar dalam komposisi kimia tersebut menjadi patokan *filler* yang akan digunakan dalam penelitian ini karena untuk mendapatkan kekuatan maksimal hasil las perlu pertimbangan dalam menggunakan *filler* yang sesuai dengan kandungan yang ada pada bahan yang digunakan.

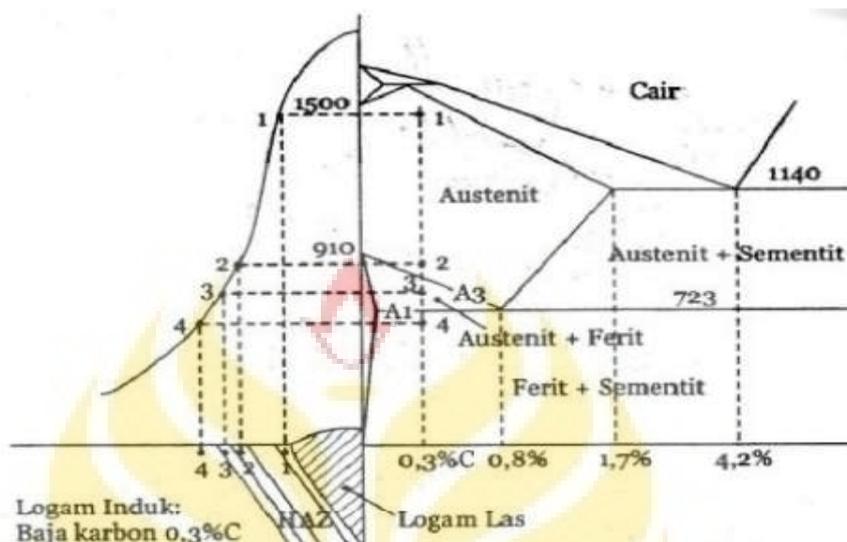
Baja karbon sedang sebelum dilas, akan menghasilkan struktur mikro *ferit* berwarna terang dan *perlit* berwarna gelap seperti terlihat pada Gambar 2.8.



Gambar 2.6 (a) Struktur mikro baja karbon sedang sebelum pengelasan
(b) Struktur martensit dalam baja
Sumber: (Parekke, S., 2014).

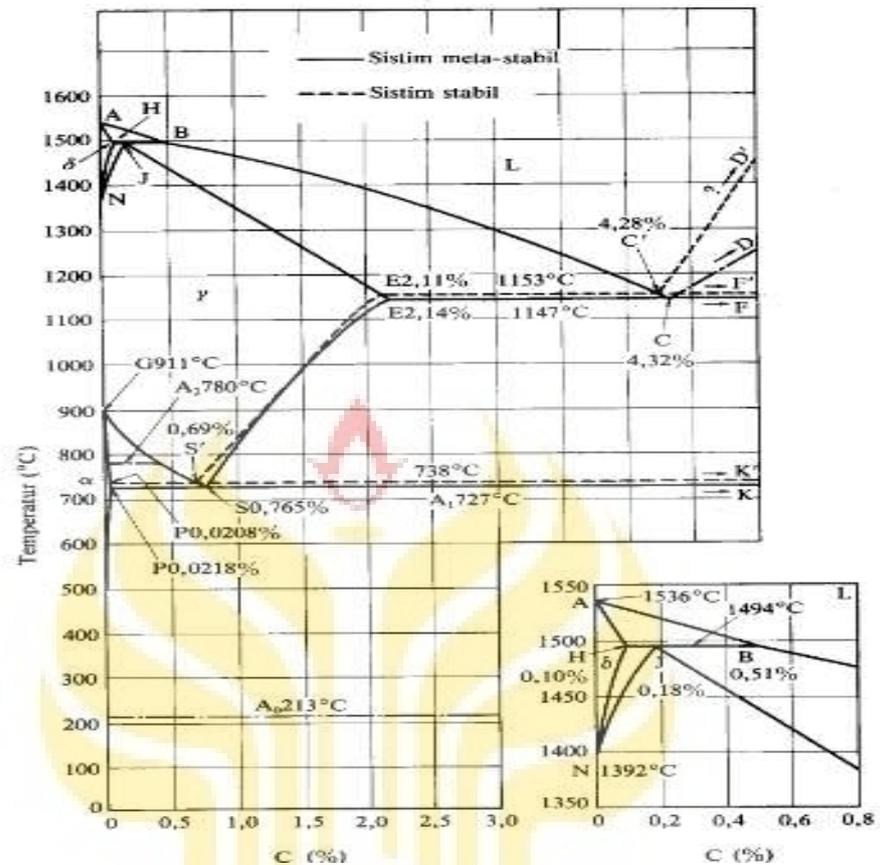
Menurut Parekke, S. (2014) distribusi kekerasan baja setelah mengalami pengelasan yaitu pada daerah *weld metal* yang memiliki kekerasan lebih rendah daripada *HAZ (heat affected zone)* karena daerah ini mengalami pendinginan paling lambat. Kekerasan mengalami peningkatan mulai dari daerah pengaruh panas atau *HAZ*, tetapi mengalami penurunan hingga ke logam induk. Ukuran butir juga mengalami penurunan mulai dari daerah yang dipengaruhi panas atau *HAZ* hingga ke logam induk. Kekerasan daerah *HAZ (heat affected zone)* meningkat karena butir mulai mengalami penghalusan. Semakin jauh dari *weld metal* kekerasan butir semakin meningkat dan ukurannya semakin halus. Hal ini terjadi karena temperatur pemanasan pada daerah ini mengalami penurunan sehingga struktur logam awal tidak sepenuhnya mengalami transformasi ketika

pengelasan. Akibatnya pada saat pendinginan cenderung terbentuk struktur logam awal *ferit* yang lebih lunak.



Gambar 2.7 Temperatur dan fasa yang terjadi pada daerah pengelasan
Sumber: (Parekke, S., 2014).

Karakteristik *ferit* pada baja karbon sedang memiliki sel satuan kubus pusat badan atau *body centered cubic (bcc)* yang menunjukkan titik mulur yang jelas dan menjadi getas pada suhu temperatur rendah. *Austenit* mempunyai sel satuan kubus pusat muka atau *face centered cubic (fcc)* yang menunjukkan titik mulur yang jelas tanpa kegetasan pada keadaan dingin, tetapi jika berupa fasa metastabil bisa 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)*. Semakin tinggi derajat kelewat jenuhan karbon maka semakin besar perbandingan satuan sumbu sel satuannya serta semakin keras dan getas *martensit* tersebut. Faktor-faktor yang menentukan sifat-sifat mekanik adalah macam fasa, kadar unsur paduan dalam fasa, banyak fasa, ukuran dan bentuk senyawa (Surdia, T., dan Saito, S., 2000).



Gambar 2.10 Diagram keseimbangan besi karbon.
Sumber: (Surdia, T., dan Saito, S., 2000: 70).

Gambar 2.8 menunjukkan diagram keseimbangan besi karbon sebagai dasar dari bahan yang berupa besi baja. Menurut Surdia, T., dan Saito, S., (2000: 69) selain karbon pada besi dan baja terkandung kira-kira 0,25% Si, 0,3-1,5% Mn dan unsur pengotor lain seperti P, S. Unsur-unsur ini tidak memberikan pengaruh utama kepada diagram fasa, maka diagram fasa tersebut dapat dipergunakan tanpa menghiraukan adanya unsur-unsur tersebut. Pada paduan besi karbon terdapat fasa karbida yang disebut *sementit* dan juga *grafit*, *grafit* lebih stabil daripada *sementit*. Pada besi cor kestabilan tersebut merupakan

pertanyaan, hal ini akan dibahas kemudian. Diagram Fe-Fe₃C (*sementit* mempunyai kadar C = 6,67%). Titik-titik penting pada diagram fasa ini adalah:

A: Titik cair besi.

B: Titik pada cairan yang ada hubungannya dengan reaksi *peritektik*.

H: Larutan padat δ yang ada hubungan dengan reaksi *peritektik*. Kelarutan karbon maksimum adalah 0,10%.

J: Titik *peritektik*. Selama pendinginan *austenit* pada komposisi J, fasa γ terbentuk dari larutan padat δ pada komposisi H dan cairan pada komposisi B.

N: Titik transformasi dari besi $\delta \rightarrow$ besi γ , titik transformasi A₄ dari besi murni.

C: Titik *eutektik*. Selama pendinginan fasa γ dengan komposisi E dan *sementit* pada komposisi F (6,67% C) terbentuk dari cairan pada komposisi C. Fasa *eutektik* ini disebut *ledeburit*.

E: Titik yang menyatakan fasa γ , ada hubungan dengan reaksi *eutektik*.

Kelarutan maksimum dari karbon 2,14%. Paduan besi karbon sampai pada komposisi ini disebut baja.

G: Titik transformasi besi $\gamma \rightarrow$ besi α . Titik transformasi A₃ untuk besi.

P: Titik yang menyatakan *ferit*, fasa α , ada hubungan dengan reaksi *eutektoid*. Kelarutan maksimum dari karbon kira-kira 0,02%.

S: Titik *eutektoid*. Selama pendinginan, *ferit* pada komposisi P dan *sementit* pada komposisi K (sama dengan F) terbentuk simultan dari *austenit* pada *eutektoid* ini dinamakan *perlit*.

GS: Garis yang menyatakan hubungan antara temperatur dan komposisi, di mana mulai terbentuk *ferit* dari *austenit*. Garis ini disebut garis A_3 .

ES: Garis yang menyatakan hubungan antara temperatur dan komposisi; di mana mulai terbentuk *sementit* dari *austenit*, dinamakan garis A_{cm} .

A_2 : Titik transformasi magnetik untuk besi atau *ferit*.

A_0 : Titik transformasi magnetik untuk *sementit*.

Berdasarkan teori diatas dalam penelitian ini digunakan sebagai acuan dalam menentukan karakteristik struktur mikro pada baja karbon sedang yang mengalami perubahan sifat fisis akibat pengelasan di daerah logam las, *HAZ*, dan logam induk.



Gambar 2.9 Struktur mikro baja karbon.
Sumber: (Surdia, T., dan Saito, S., 2000: 71).

Berdasarkan Gambar 2.9 (a) struktur mikro baja karbon dengan kandungan C 0,06% besar butir medium (b) 0,25% C baja dinormalkan pada 930°C (c) 0,30% C baja di austenitkan pada 930°C ditransformasikan isothermal pada 700°C, *ferit* dan *perlit* kasar (d) 0,45% C baja dinormalkan pada 840°C, tersusun *ferit* dan *perlit* (e) 0,80% C baja di austenitkan pada 1150°C (f) 1,0% C baja di rol panas pada 1050°C, pendinginan udara, *matriks perlit*, *sementit* pada batas butir atau garis putih (Surdia, T., dan Saito, S., 2000: 71).

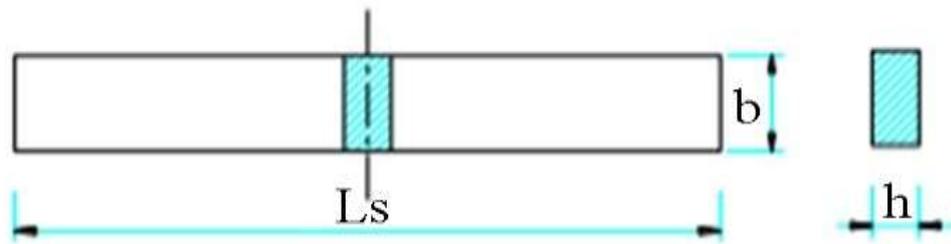
3. Foto Mikro

Perubahan sifat fisis hasil lasan dapat diketahui melalui struktur mikro yang didapatkan dari hasil uji foto mikro. Wiryosumarto, H., dan Okumura, T., (2000: 43) menyatakan bahwa struktur mikro dari baja tergantung dari kecepatan pendinginannya dari suhu daerah *austenite* sampai ke suhu kamar. Hubungan antara kecepatan pendinginan dan struktur mikro yang terbentuk biasanya digambarkan dalam diagram yang menghubungkan waktu, suhu, dan transformasi yang biasa disebut dengan diagram *CCT* (*Continuous Cooling Transformation*). Diagram *CCT* digunakan untuk membahas pengaruh struktur mikro terhadap retak las dan sebagainya yang kemudian bisa digunakan untuk menentukan prosedur dan cara pengelasan (Wiryosumarto, H., dan Okumura, T., 2000: 60). Suparjo dan Purnomo (2012: 171) menyatakan bahwa pengujian foto mikro digunakan untuk mengetahui dan membedakan struktur antara logam induk yang diberikan pada saat proses perlakuan panas.

Penelitian foto mikro dalam penelitian ini digunakan untuk mengetahui bentuk dan batas antara *base metal*, *weld metal*, *HAZ*, las bagian dalam, dan las bagian luar. Pengelasan bagian dalam dan bagian luar terjadi penyatuan dari proses pengelasan lapis banyak sehingga menjadi pusat dari kekuatan pengelasan.

4. Tegangan Lentur (*Bending Test*)

Pengujian lentur merupakan salah satu pengujian yang merusak. Pengujian merusak adalah pengujian yang digunakan untuk mengetahui kekuatan logam pada konstruksi. Wiryosumarto, H., dan Okumura, T., (2000: 361) menyatakan bahwa pengujian merusak pada konstruksi las adalah pengujian terhadap model dari konstruksi atau batang-batang uji yang telah dilas sampai terjadi kerusakan pada model konstruksi atau batang uji. Pengujian lentur (*bending test*) adalah salah satu cara pengujian yang digunakan untuk menentukan mampu bentuk dari pelat atau kekuatan sambungan las (Surdia, T., dan Saito, S., 2000: 21). Menurut Hadi, E., S. (2009) *bending test* digunakan untuk mengetahui sifat kelenturan dan kegetasan dari bahan serta mengetahui mampu deformasi dengan radius bengkok tertentu. Metode pengujian yang digunakan adalah *triple point* yaitu benda uji ditumpu dengan satu tumpuan dibagian atas benda uji dan dua tumpuan dibagian bawah benda uji. Perhitungan kekuatan *bending* dapat dicari melalui persamaan sebagai berikut:

Gambar 2.10 Bentuk spesimen uji *bending*

Sumber: (Hadi, E. S., 2009).

$$\sigma_{\text{lentur}} = \frac{P_{\text{max}} \times L_s}{4W} \text{ N/mm}^2$$

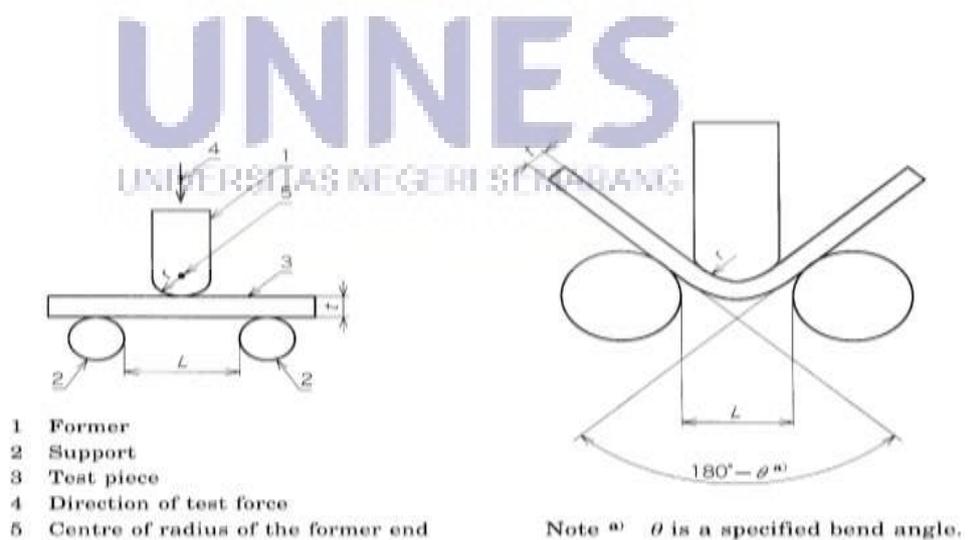
$$W = \frac{b \cdot h^2}{6} \text{ mm}^3$$

Dimana:

- Ls : Jarak antar dua tumpuan (mm)
 W : Moment inertia (mm³)
 b : Lebar spesimen (mm)
 h : Tebal spesimen (mm)

Menurut JIS (2006) metode tekan pada uji bending dijelaskan pada Gambar

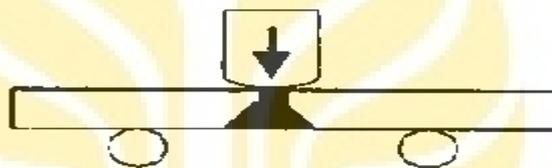
2.13

Gambar 2.11 Metode tekan pada *bending*

Sumber: (JIS, 2006: 5).

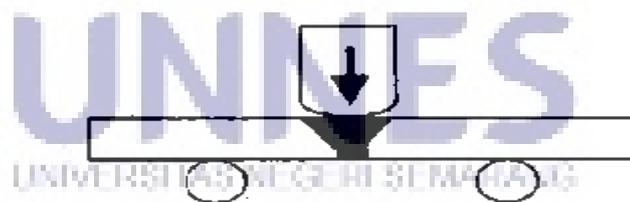
Bending test dalam penelitian ini digunakan sebagai pengujian untuk mengetahui perubahan sifat mekanik pada baja *EMS 45*. Menurut Mahande (2011) bahwa posisi spesimen dalam *bending test* ada 2 yaitu transversal dan longitudinal. Transversal *bending* adalah posisi spesimen tegak lurus dengan arah pengelasan. Transversal *bending* dibagi menjadi 3 berdasarkan arah pembebanan dan lokasi, yaitu:

- a. *Face bend* (*bending* pada permukaan las), yaitu permukaan las mengalami tegangan tarik dan dasar las mengalami tegangan tekan.



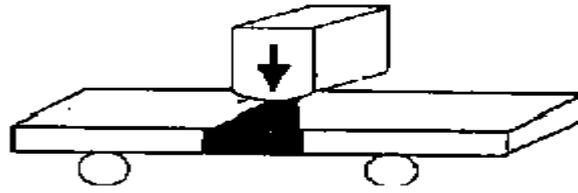
Gambar 2.12 *Face bend* pada transversal *bending*
Sumber: (Mahande, 2011).

- b. *Root bend* (*bending* pada akar las), yaitu akar las mengalami tegangan tarik dan dasar las mengalami tegangan tekan.



Gambar 2.13 *Root bend* pada transversal *bending*
Sumber: (Mahande, 2011).

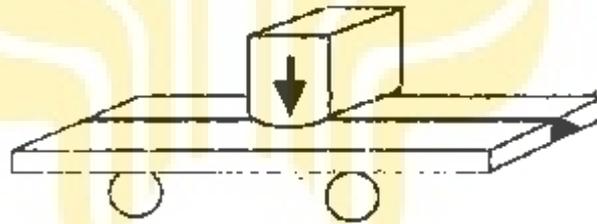
- c. *Side bend* (*bending* pada sisi las), yaitu pengujian yang dilakukan jika ketebalan material yang di las lebih besar 3/8 inchi.



Gambar 2.14 *Side bend* pada transversal *bending*
Sumber: (Mahande, 2011).

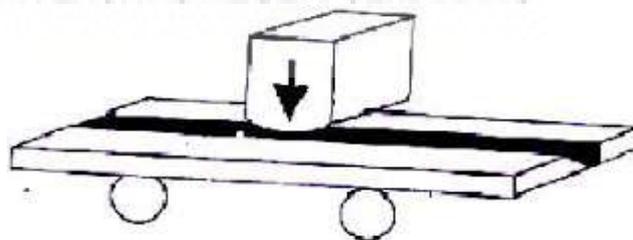
Longitudinal *bending* adalah posisi spesimen searah dengan arah pengelasan. Longitudinal *bending* dibagi menjadi 2 berdasarkan arah pembebanan dan lokasi, yaitu:

1. *Face bend* (*bending* pada permukaan las) yaitu pada permukaan las mengalami tegangan tarik dan dasar las mengalami tegangan tekan.



Gambar 2.15 *Face bend* pada longitudinal *bending*
Sumber: (Mahande, 2011).

2. *Root bend* (*bending* pada akar las) yaitu pada akar las mengalami tegangan tarik dan dasar las mengalami tegangan tekan.



Gambar 2.16 *Root bend* pada longitudinal *bending*
Sumber: (Mahande, 2011).

Berdasarkan jenis pengujian *bending* diatas, penelitian ini menggunakan jenis pengujian transversal *bending* secara *face* dan *root* karena lebih sering

digunakan dalam pemasangan pada konstruksi mesin. Secara konseptual *face bend* dan *root bend* digunakan untuk ketebalan 12 mm kebawah, sedangkan untuk ketebalan diatas 12 mm menggunakan pengujian secara *side bend* karena material yang sangat tebal tidak mampu melengkung jika diuji dari *face* dan *root*, sehingga dapat disimpulkan bahwa *side bend* atau posisi yang sejajar dengan pengelasan mampu menerima beban yang lebih kuat dibandingkan *face* dan *root* karena posisi yang sejajar dengan proses pengelasan menerima panas secara penuh. Permukaan las dan akar las mengalami pemanasan yang kurang matang, karena logam yang dilas mencair pada suhu 1539° C yang tepat pada tengah pengelasan. Penelitian ini menggunakan material dengan ketebalan 12 mm sehingga digunakan pengujian secara *face bend* dan *root bend*.

5. Pengaruh *Voltage* terhadap Struktur dan Kekuatan

Pengaruh masukan panas yang tinggi menyebabkan laju pendinginan setelah pengelasan menjadi lambat sehingga struktur *ferrite acicular* yang terbentuk lebih banyak. Struktur mikro di logam las berbutir panjang (*columnar grains*). Struktur mikro yang terbentuk akibat pengaruh masukan panas yaitu *proeutectoid ferrite* yang terdiri dari *grain boundary ferrite* dan *intragranular poligonal ferrite*, *widmanstatten ferrite* atau *ferrite with aligned second phase*, *accicular ferrite* tumbuh di dalam butir *austenite*, *bainite*, dan *martensite* yang terjadi jika pendinginan berlangsung sangat cepat (Mizhar dan Pandiangan, 2014).

Pengaruh *voltage* yang tinggi menyebabkan bentuk manik yang lebar, penetrasi dangkal, penguatan manik rendah, serta terjadi perpanjangan meningkat

dan terjadi lubang halus sehingga mengakibatkan penurunan kekuatan pada sifat mekanis logam lasan (Wiryo Sumarto, H., dan Okumura, T., 2000: 232).

B. Penelitian Relevan

Penelitian ini mengacu pada penelitian yang telah dilakukan sebelumnya yaitu penelitian dari Mahande (2011) tentang 'Perbandingan Tegangan Lentur *St 42* secara *Face Bend* dan *Root Bend* pada Hasil Pengelasan Kampuh V'. Hasil penelitian diperoleh nilai rata-rata sebesar 724,82 N/mm² untuk pengujian secara *face bend* dan 557,05 N/mm² untuk *root bend*. Perbedaan tegangan lentur disebabkan oleh posisi penempatan sambungan las terhadap beban berdampak terjadinya variasi gaya tekan. Kesimpulan dalam penelitian tersebut bahwa posisi sambungan las secara *face bend* lebih tahan terhadap beban yang diberikan dibandingkan posisi secara *root bend*. Relevansinya dalam penelitian ini yaitu perbandingan *face bend* dan *root bend* dan perbedaannya yaitu penggunaan variasi *voltage* pada pengelasan *GMAW*.

Penelitian kedua dari Sutiyono, dkk (2014) 'Pengaruh *Pre-strain* dan Tegangan Listrik terhadap Sifat Mampu Las dan Kekuatan Sambungan Las Titik Bada Material antara SS400 dan JSLAUS (J1)'. Hasil penelitian menyatakan bahwa *pre-strain* pada *voltage* rendah berpengaruh terhadap *weldability* material antara J1 dengan SS400. Hal ini dikarenakan *strain hardening* dan transformasi *martensit* pada J1. *Failure mode* dipengaruhi oleh kekuatan dan *fusion zone* las titik. Ukuran *fusion zone* yang kecil menyebabkan *interfacial failure mode* sedangkan ukuran *fusion zone* yang besar menyebabkan *pullout failure mode*.

Semakin tinggi *voltage* pengelasan maka semakin tinggi *tensile load bearing capacity (TLBC)* dikarenakan tingkat peleburan semakin tinggi. Peningkatan *pre-stain* memberikan pengaruh yang signifikan terhadap *TLBC* las titik pada *voltage* rendah, semakin tinggi *pre-strain* maka *TLBC* semakin rendah, namun *TLBC* cenderung sama pada *voltage* pengelasan tinggi yaitu 3,20 Volt. Bentuk nugget lasan asimetrik yang disebabkan oleh perbedaan ketebalan, konduktivitas termal, dan tahanan listrik material. Struktur mikro yang terbentuk pada nugget adalah *bainit*. Relevansinya dengan penelitian yang akan dilaksanakan yaitu penggunaan variasi *voltage* terhadap sifat fisis dan mekanis perbedaannya yaitu dengan pengujian mekanis uji *bending*.

Penelitian ketiga dari Waluyo, J (2012) ‘Pengaruh Tebal Pelat Baja Karbon Rendah Lama Penekanan dan Tegangan Listrik pada Pengelasan Titik terhadap Sifat Fisis dan Mekanis’. Hasil penelitian menyatakan bahwa semakin tinggi *voltage* maka nilai kekerasan semakin meningkat dan menyebabkan kekuatan tarik menurun, sedangkan *voltage* yang rendah menyebabkan nilai kekerasan menurun sehingga kekuatannya meningkat. Relevansinya dengan penelitian yang akan dilaksanakan yaitu penggunaan variasi *voltage* untuk mengetahui pengaruhnya terhadap sifat fisis dan mekanis, sedangkan perbedaannya yaitu dengan pengujian mekanis uji *bending* dan bahan yang digunakan dengan ketebalan lebih besar yaitu 12 mm.

Penelitian keempat dari Hadi, E. S (2009) tentang ‘Analisa Pengelasan *Mild Steel (St 42)* dengan Proses *SMAW, FCAW* dan *SAW* Ditinjau dari Segi Kekuatan dan Nilai Ekonomis’. Hasil penelitian menyatakan bahwa tegangan

lentur dengan metode *SMAW* sebesar 511 N/mm^2 , *FCAW* sebesar 490 N/mm^2 , dan *SAW* sebesar 440 N/mm^2 . Hal tersebut menunjukkan bahwa hasil pengelasan dengan metode *SMAW* mempunyai tegangan lentur lebih baik. Relevansinya yaitu pengujian *bending* dan letak perbedaan penelitian adalah perbandingan tegangan lentur secara *face* dan *root* akibat proses pengelasan *GMAW*.

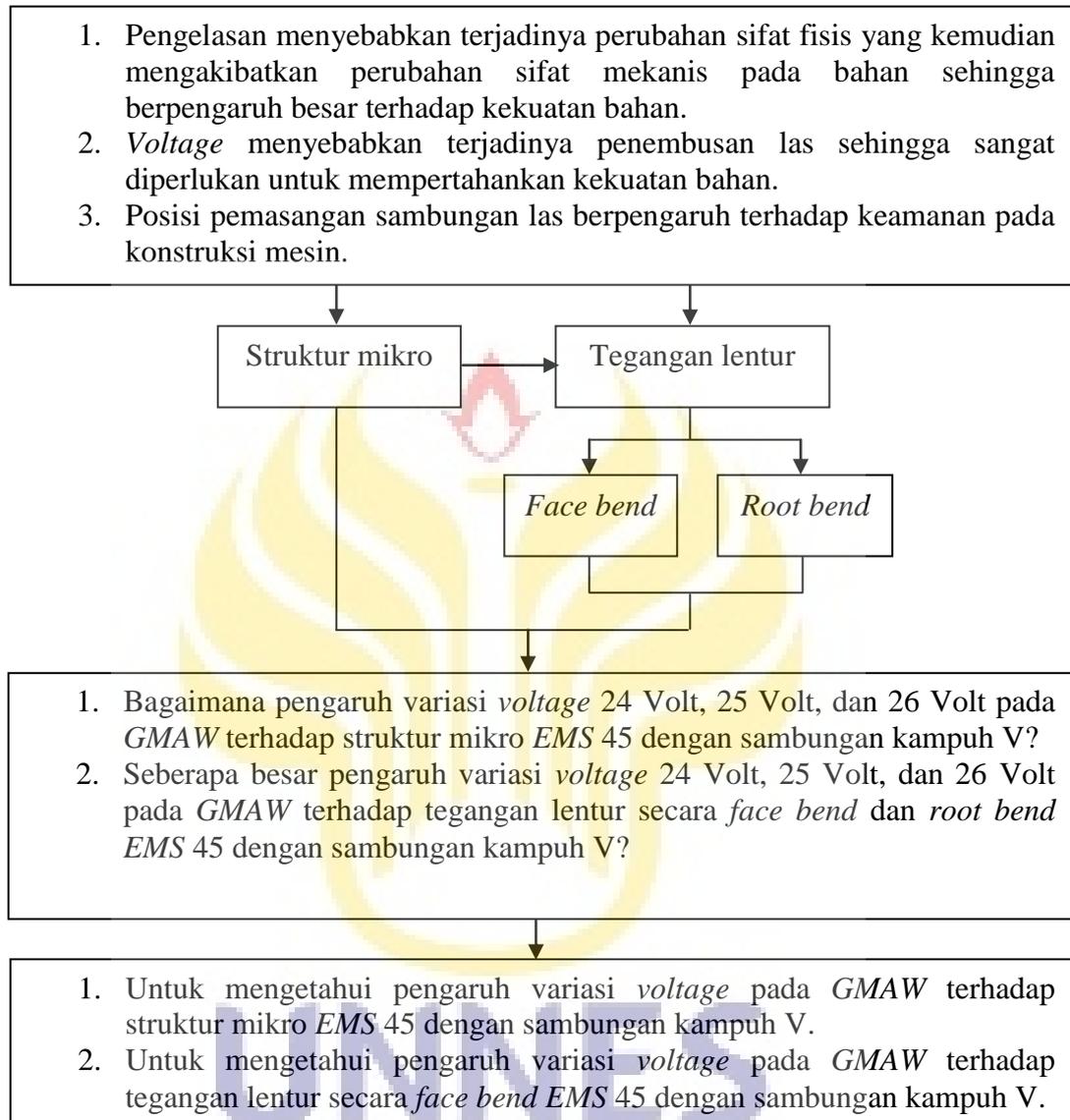
Penelitian kelima dari Suprijanto, D (2013) tentang ‘Pengaruh Bentuk Kampuh terhadap Kekuatan *Bending* Las Sudut *SMAW* Posisi Mendatar pada Baja Karbon Rendah’. Hasil penelitian diperoleh data kekuatan *bending* sebesar 281.74 kg/mm^2 untuk kampuh V ganda, $274,535 \text{ kg/mm}^2$ untuk kampuh U ganda, $114,27 \text{ kg/mm}^2$ untuk kampuh I, V, U tunggal. Data tersebut menyimpulkan bahwa kekuatan *bending* kampuh ganda lebih besar daripada kampuh tunggal karena penembusan logam las dilakukan dari dua arah sehingga lebih homogen dengan laju pendinginan yang lambat. Relevansinya yaitu pengujian *bending* dan letak perbedaan penelitian adalah variasi yang digunakan menggunakan *voltage* karena merupakan parameter utama dalam masukan panas las yang mampu menyebabkan terjadinya penetrasi.

Penelitian keenam dari Endartyana, F (2013) tentang ‘Studi Perbandingan Sifat Mekanik pada Pengelasan Satu dan Dua Sisi *Friction Stir Welding* Aluminium 5083 Kapal Katamaran’. Hasil dalam penelitian tersebut bahwa pengujian tekuk (*bending test*) pada hasil pengelasan dua sisi menunjukkan kekuatan yang lebih baik pada saat pengujian *root bend* (sisi pertama) karena hanya satu spesimen uji yang mengalami sobek merata, sedangkan hasil pengelasan satu sisi terdapat *open defect* yang terjadi saat pengujian *root bend*

karena adanya *wormhole* yang menyebabkan awal *crack* hingga menjalar ke bagian yang memiliki nilai kekerasan yang rendah, sehingga dapat disimpulkan bahwa pengelasan dua sisi menghasilkan nilai kekuatan yang lebih baik. Pengelasan dua sisi dalam penelitian tersebut tentu membutuhkan sumber daya dan waktu yang lebih banyak untuk mencapai kekuatan yang besar. Relevansinya yaitu pengujian *bending* dan letak perbedaan penelitian adalah penggunaan *voltage* yang sesuai agar terjadi penembusan las yang besar.

Penelitian ketujuh dari Tarmizi dan Latifah (2012) tentang ‘Analisa Kegagalan Tabung Gas LPG Kapasitas 3 Kg’. Hasil dari penelitian tersebut adalah perbedaan perubahan nilai kekerasan rata-rata yang sangat besar yaitu dengan adanya kenaikan antara *weld metal* dengan *fusion line* dan terjadi penurunan antara *fusion line* dengan *HAZ* yang kemudian menyebabkan terjadinya retak saat pengujian *bending* pada *face bend*. Kebocoran yang terjadi di daerah lasan disebabkan oleh penipisan dinding tabung akibat proses *jogging* sehingga pada saat pengelasan arus yang digunakan besar dan menyebabkan terjadinya cacat *burn through* di daerah akar las sehingga mengubah dimensi ketebalan dinding tabung yaitu dengan adanya cacat yang menyerupai takikan. Relevansinya yaitu pengujian *bending* dan letak perbedaan penelitian adalah dengan penggunaan variasi *voltage* untuk mencapai masukan panas yang tepat.

C. Kerangka Pikir



Gambar 2.17 Kerangka pikir

BAB V

SIMPULAN DAN SARAN

A. Simpulan

1. Pengaruh variasi *voltage* terhadap struktur mikro baja *EMS 45* yaitu apabila *voltage* semakin tinggi maka material akan lebih getas. Pada *voltage* 26 Volt terlihat lebih getas dan keras karena *perlit* yang lebih dominan daripada *ferit*, sedangkan *voltage* 24 Volt dan 25 Volt lebih ulet dan kuat karena susunan *ferit* yang lebih dominan daripada *perlit*.
2. Pengaruh variasi *voltage* terhadap tegangan lentur baja *EMS 45* yaitu diperoleh nilai tegangan lentur yang berbeda akibat perubahan ukuran butir dan struktur yang terbentuk. Tegangan lentur secara *face* lebih besar dibandingkan secara *root*. Tegangan lentur tertinggi sebesar 1191,6 N/mm² pada *voltage* 26 Volt secara *face bend*, dan tegangan lentur terendah sebesar 859,3 N/mm² pada *voltage* 25 Volt secara *root bend*.

B. Saran

1. Apabila ingin mendapatkan struktur yang baik pada *EMS 45* akibat penggunaan *voltage* pada pengelasan *GMAW* sebaiknya menggunakan *voltage* 24 sampai 25 Volt.
2. Untuk mendapatkan kekuatan lentur yang tinggi dan aman pada *EMS 45* akibat penggunaan *voltage* pada pengelasan *GMAW* sebaiknya menggunakan

3. *voltage* 25 Volt dengan posisi pemasangan sambungan secara *face* karena lebih tahan terhadap beban.
4. Penelitian lebih lanjut perlu ditambahkan pengujian *SEM (Scanning Electron Microscope)* untuk mengetahui lebih jelas struktur yang terbentuk pada baja *EMS 45*.
5. Untuk penelitian selanjutnya sebaiknya perlu dilakukan *PWHT* atau perlakuan panas lainnya yang sesuai dengan karakteristik baja *EMS 45* untuk meningkatkan kekuatan sambungan las.



DAFTAR PUSTAKA

- Endartyana, R.E. 2013. Studi Perbandingan Sifat Mekanik pada Pengelasan Satu Sisi dan Dua Sisi Friction Stir Welding Aluminium 5083 Kapal Kataram. *Jurnal Teknik Pomits*: 1-6.
- Hadi, E.S. 2009. Analisa Pengelasan Mild Steel (St 42) dengan Proses SMAW, FCAW dan SAW ditinjau dari segi Kekuatan dan Nilai Ekonomis. *Jurnal Teknik Perkapalan* 6(2): 107-117.
- Hadi, S., dkk. 2013. EMS-45 Tool Steels Hardenability Experiment using Jominy ASTM A255 Test Method. *The Journal for Technology and Science* 24(1): 7-11.
- JIS. 2006. *Metallic Materials Bend Test*. Desember. Japanese Standards Association. Japan.
- Kosasih, W., dkk. 2015. Analisis Pengendalian Kualitas Produk Bucket Tipe ZX 200 GP dengan Metode Statistical Process Control dan Failur Mode and Effect Analysis (Studi Kasus: PT. CDE). *Jurnal Ilmiah Teknik Industri* 3(2): 1-9.
- Mahande, R.D. 2011. Perbandingan Tegangan Lentur St 42 secara Face Bend dan Root Bend pada Hasil Pengelasan Kampuh V. www.Ridwanmahande.net/?page_id=148. 12 Januari 2016 (2:25).
- Mizhar, S., dan Pandiangan, I.H. 2014. Pengaruh Masukan Panas terhadap Struktur Mikro, Kekerasan dan Ketangguhan pada Pengelasan Shield Metal Arc Welding (SMAW) dari Pipa Baja Diameter 2,5 inci. *Jurnal Dinamis* 2(14): 16-22.
- Parekke, S. 2014. Pengaruh Pengelasan Logam Berbeda Baja (AISI 1045) dengan Baja Tahan Karat (AISI 316L) terhadap Sifat Mekanis dan Struktur Mikro. *Tesis*. Program Pascasarjana Teknik Mesin Universitas Hasanuddin. Makassar.
- Salmon, C.G., dan Johnson, J.E. 1992. *Struktur Baja Desain dan Perilaku*. Edisi Ketiga. Cetakan Pertama. PT Gramedia Pustaka Utama.
- Sugiyono. 2010. *Metode Penelitian*. Cetakan Kesepuluh. Alfabeta. Bandung.

- Suparjo dan Purnomo. 2012. Variasi Temperatur Pemanasan pada Proses Perlakuan Panas terhadap Kekerasan dengan Material SS-304L. *Jurnal IPTEK* 16(2): 170-178.
- Suprijanto, D. 2013. Pengaruh Bentuk Kampuh terhadap Kekuatan Bending Las Sudut SMAW Posisi Mendatar pada Baja Karbon Rendah. *Sekolah Tinggi Teknologi Nasional*: 91-96.
- Surdia, T., dan Saito, S. 2000. *Pengetahuan Bahan Teknik*. Cetakan Kelima. PT Pradnya Paramita. Jakarta.
- Sutiyono, dkk. 2014. Pengaruh *Pre-strain* dan Tegangan Listrik terhadap Sifat Mampu Las dan Kekuatan Sambungan Las Titik Beda Material antara SS400 dan JSLAUS (JI). *Jurnal Mekanika* 12(2): 71-77.
- Tarmizi dan Latifah, S.M. 2012. Analisa Kegagalan Tabung Gas LPG Kapasitas 3 Kg. *Jurnal Riset Industri* 6(1): 61-73.
- Waluyo, J. 2012. Pengaruh Tebal Pelat Baja Karbon Rendah Lama Penekanan dan Tegangan Listrik pada Pengelasan Titik terhadap Sifat Fisis dan Mekanis. *Jurnal Prosiding Seminar Nasional Aplikasi Sains & Teknologi (SNAST) Periode III*: 332-338.
- Widharto. 2007. *Menuju Juru Las Tingkat Dunia*. Cetakan Pertama. PT Pradnya Paramita. Jakarta.
- Wiriyosumarto, H., dan Okumura, T. 2000. *Teknologi Pengelasan Logam*. Cetakan Kedelapan. PT Pradnya Paramita. Jakarta.