

## **ANALISIS KEKUATAN TARIK, KEKERASAN DAN STRUKTUR MIKRO PADA PENGELASAN SMAW YANG MENGGUNAKAN ELEKTRODA E 6013 DENGAN VARIASI GERAKAN ELEKTRODA**

**Andri Santoso, Awal Syahrani Sirajuddin, Mustafa, Andi Idhan**

JURUSAN TEKNIK MESIN FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS TADULAKO

Kampus Bumi Tadulako Palu – Sulawesi Tengah

**Abstract: Analysis of Tensile Strength, Hardness and Micro Structure of Smaw Welding Using E 6013 Electrodes with Electrode Movement Variations.** This study aims to determine the effect of electrode movements on the mechanical properties and microstructure of SMAW welding results with E 6013 electrodes. The SMAW welding process uses variations in the movement of straight, zig-zag and spiral electrodes. The electrode used is E 6013 with a diameter of 3.2 mm. The amount of current used is 90 Amperes. The type of seam used is seam V with an angle of 60°, root height of 2 mm and root distance of 3 mm. Tests conducted are tensile testing, hardness and microstructure observation. The place of research was conducted at the Mechanical Engineering Laboratory, Faculty of Engineering, Tadulako University.

Tensile test results obtained the highest tensile strength value on the spiral electrode movement that is 616.6 MPa and the lowest on the zig-zag electrode movement that is 596 MPa. While the highest strain value is found in the zig-zag electrode movement which is 22.91% and the lowest in the spiral electrode movement is 19.41%. For the highest modulus of elasticity, there is a straight electrode movement of 12070.02 MPa and the lowest is a zig-zag electrode movement of 10339.48 MPa. The highest hardness value is in the welding with zig-zag electrode movement that is 147.44 kg / mm<sup>2</sup> and the lowest is in the straight electrode movement that is 143.19 kg / mm<sup>2</sup>.

Micro structure observations that show a neat and dense grain structure and have balanced pearlite and ferrite content are found in the weld metal section and the HAZ area with spiral electrode movements.

**Keywords:** SMAW, Electrode Movement, E 6013, Tensile Strength, Hardness, Micro Structure Observation.

**Abstrak: Analisis Kekuatan Tarik, Kekerasan dan Struktur Mikro pada Pengelasan Smaw yang Menggunakan Elektroda E 6013 dengan Variasi Gerakan Elektroda.** Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh gerakan elektroda terhadap sifat mekanis dan struktur mikro hasil pengelasan SMAW dengan elektroda E 6013. Proses pengelasan SMAW menggunakan variasi gerakan elektroda lurus, zig-zag dan spiral. Elektroda yang digunakan adalah E 6013 dengan diameter 3,2 mm. Besar arus yang digunakan ialah 90 Ampere. Jenis kampuh yang digunakan adalah kampuh V dengan sudut 60°, tinggi akar 2 mm dan jarak akar 3 mm. Pengujian yang dilakukan adalah pengujian tarik, kekerasan dan pengamatan struktur mikro. Tempat penelitian dilakukan di Laboratorium Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Tadulako.

Hasil pengujian tarik diperoleh nilai kuat tarik tertinggi pada gerakan elektroda spiral yaitu 616,6 Mpa dan terendah pada gerakan elektroda zig-zag yaitu 596 Mpa. Sedangkan nilai regangan tertinggi terdapat pada gerakan elektroda zig-zag yaitu 22,91% dan terendah pada gerakan elektroda spiral yaitu 19,41%. Untuk nilai modulus elastisitas tertinggi terdapat pada gerakan elektroda lurus yaitu 12070,02 Mpa dan terendah pada gerakan elektroda zig-zag yaitu 10339,48 Mpa. Nilai kekerasan tertinggi terdapat pada pengelasan

dengan gerakan elektroda zig-zag yaitu 147,44 kg/mm<sup>2</sup> dan yang terendah pada gerakan elektroda lurus yaitu 143,19 kg/mm<sup>2</sup>.

Hasil pengamatan struktur mikro yang menunjukkan struktur butir yang rapi dan rapat serta mempunyai kandungan perlit dan ferit seimbang terdapat pada bagian logam lasan dan daerah HAZ dengan gerakan elektroda spiral.

**Kata kunci** : SMAW, Gerakan Elektroda, E 6013, Kekuatan Tarik, Kekerasan, Pengamatan Struktur Mikro.

## PENDAHULUAN

Pengelasan (*Welding*) dapat didefinisikan sebagai teknik penyambungan logam secara permanen dari dua buah komponen atau lebih dengan mencairkan logam induk dan logam pengisi. Pengelasan dilakukan dengan atau tanpa tekanan serta menggunakan atau tanpa menggunakan logam penambah. Penggunaan lasan meliputi teknik-teknik konstruksi yaitu perkapalan, rangka baja, rangka kendaraan, rel kereta dan sebagainya.

Untuk mendapatkan hasil lasan yang halus dan rata serta menghindari cacat pada hasil lasan, maka pada proses pengelasan dibutuhkan suatu gerakan elektroda untuk meratakan peleburan logam pengisi dan logam induk yang tujuannya dinyatakan oleh Wiryosumarto & Okumura (2000) yaitu untuk mengurangi terjadinya takikan dan pencampuran terak pada daerah lasan. Contoh beberapa gerakan elektroda yaitu pola spiral, zig-zag dan lurus.

Pada penelitian Pranawan & Suwito (2016), tentang pengaruh teknik pengelasan alur spiral, alur zig-zag dan lurus pada arus 85 A terhadap kekuatan tarik baja ST 41 pada pengelasan SMAW diperoleh hasil penelitian, nilai kekuatan tarik tertinggi rata-rata 32,50 Kgf/mm<sup>2</sup> terjadi pada gerakan elektroda pola spiral, sedangkan nilai kekuatan tarik terendah rata-rata 31,40 kgf/mm<sup>2</sup> terjadi pada gerakan elektroda pola lurus, sedangkan nilai kekuatan tarik pada gerakan elektroda pola zig-zag yaitu rata-rata 32,36 kgf/mm<sup>2</sup>.

Pada penelitian Kurniawan (2014), tentang analisis kekuatan tarik dan struktur mikro pada baja ST 41 akibat perbedaan ayunan elektroda pengelasan

SMAW diperoleh hasil penelitian yang membuktikan bahwa struktur mikro dan makro yang terjadi pada baja ST 41 menunjukkan patah ulet. Hal ini ditunjukkan dengan banyaknya dimple atau cekungan-cekungan pada hasil foto struktur mikro daerah patahan. Posisi pengelasan memberikan pengaruh yang nyata pada hasil kekuatan tarik, dimana nilai kekuatan tarik tertinggi pada posisi 1G adalah 450,6 MPa dengan ayunan elektroda zig-zag dan untuk nilai kekuatantarik tertinggi padaposisi 3G adalah 447,1 MPa dengan ayunan elektroda spiral.

Berdasarkan permasalahan di atas penulis tertarik untuk melakukan penelitian pada pengaruh gerakan elektroda terhadap hasil lasan yaitu dengan judul: '**Analisis Kekuatan Tarik, Kekerasan dan Struktur Mikro pada Pengelasan SMAW yang Menggunakan Elektroda E 6013 dengan Variasi Gerakan Elektroda**'.

## TINJAUAN PUSTAKA

### Pengertian Pengelasan

Secara sederhana pengelasan (*Welding*) dapat didefinisikan sebagai teknik penyambungan logam secara permanen dari dua buah komponen atau lebih dengan mencairkan logam induk dan logam pengisi. Pengelasan dilakukan dengan atau tanpa tekanan serta menggunakan atau tanpa menggunakan logam penambah.

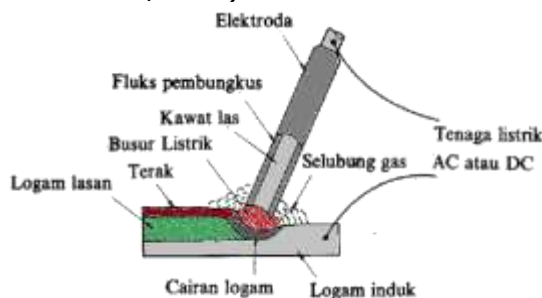
Berdasarkan definisi dari *Deutsche Industrie Normen (DIN)* las adalah ikatan metalurgi pada sambungan logam atau logam paduan yang dilaksanakan dalam keadaan lumer atau cair. Wiryosumarto & Okumura (2000) menyebutkan bahwa pengelasan adalah penyambungan

setempat dari beberapa batang logam dengan menggunakan energi panas.

Pengelasan merupakan penyambungan dua bahan atau lebih yang didasarkan pada prinsip-prinsip proses difusi, sehingga terjadi penyatuan bagian bahan yang disambung. Kelebihan sambungan las adalah konstruksi ringan, dapat menahan kekuatan yang tinggi, mudah pelaksanaannya, serta cukup ekonomis. Namun kelemahan yang paling utama adalah terjadinya perubahan struktur mikro bahan yang dilas, sehingga terjadi perubahan sifat fisik maupun mekanis dari bahan yang dilas (Djamiko, 2008).

**Pengelasan Busur Logam Terbungkus (Shielded Metal Arc Welding)**

Pengelasan SMAW merupakan pengelasan yang menggunakan batang elektroda yang terbungkus oleh fluks. Dalam Gambar 1 dapat dilihat bahwa busur listrik terbentuk antara logam induk dan ujung elektroda yang sedang mencair dan kemudian membeku bersama. Proses pemindahan logam dari elektroda ke logam induk terjadi pada saat ujung elektroda mencair dan membentuk butir-butir yang terbawa oleh arus busur listrik yang terjadi. Pada proses tersebut logam induk dan logam pengisi dari elektroda menyatu dalam kondisi cair disertai fluks yang terbakar dan gas yang terjadi akan melindungi proses pengelasan terhadap pengaruh udara luar, kemudian membeku disertai dengan pembungkusan oleh suatu lapisan yang disebut slag (Wiryo Sumarto & Okumura, 2000).



**Gambar 1** Prinsip Kerja Las SMAW (Wiryo Sumarto & Okumura, 2000)

**Arus Pengelasan**

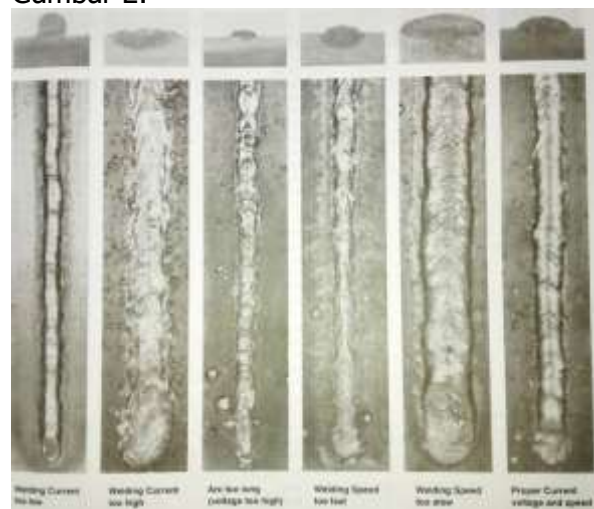
Arus adalah aliran pembawa muatan listrik yang berfungsi mengalirkan panas pada logam pengisi atau elektroda, simbol yang digunakan adalah huruf besar I dalam satuan ampere. Hubungan antara diameter elektroda dan arus las dapat dilihat pada Tabel 1.

**Tabel 1** Hubungan Diameter Elektroda Dengan Arus Pengelasan

Elektroda E-6013 Untuk Semua Posisi				
Diameter (mm)	AC		DC	
	I	V	I	V
2,38	50-100	21-24	50-80	20-27
3,18	80-140	18-20	80-120	22-24
3,97	120-190	20-25	120-170	22-26
4,76	160-220	25-28	190-220	20-22
5,56	240-270			
6,35	270-350	18-21	270-350	20-22
7,94	320-420	23-26	320-420	24-30

Sumber: Cary (1998).

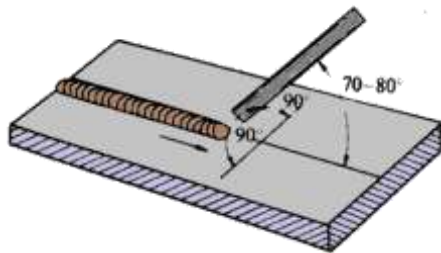
Arus las harus disesuaikan dengan jenis bahan dan diameter elektroda yang di gunakan dalam pengelasan, karna jika tidak sesuai akan menimbulkan hasil yang tidak maksimal. Penggunaan arus yang terlalu kecil akan mengakibatkan penembusan atau penetrasi las yang rendah, sedangkan arus yang terlalu besar akan mengakibatkan terbentuknya manik las yang terlalu lebar dan deformasi dalam pengelasan seperti ditunjukkan pada Gambar 2.



**Gambar 2** Pengaruh Arus dan Kecepatan Pengelasan Terhadap Hasil Sambungan Las (Cary, 1998)

**Proses Pengelasan**  
**Posisi Pengelasan Mendatar**

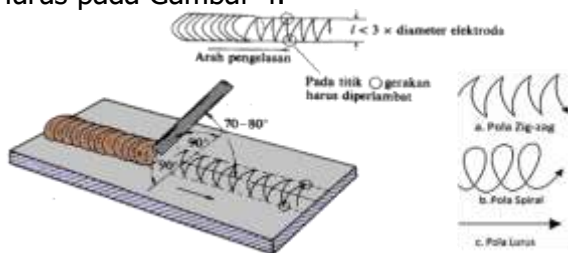
Posisi pengelasan mendatar merupakan proses pengelasan pada material dengan posisi yang menyesuaikan dengan kondisi material tersebut. Posisi pengelasan mendatar merupakan posisi pengelasan yang sering dijumpai dan yang paling mudah prosesnya. Adapun posisi pengelasan mendatar pada alur lasan berbentuk kampuh dapat dilihat pada Gambar 3.



**Gambar 3** Posisi Pengelasan Mendatar (Wiryosumarto & Okumura, 2000).

**Gerakan Elektroda**

Gerakan elektroda merupakan bagian dari proses pengelasan yang berfungsi untuk mendapatkan hasil lasan yang halus dan rata serta menghindari cacat pada hasil lasan. Adapun cara kerjanya adalah meratakan peleburan logam pengisi dan logam induk yang bertujuan untuk mengurangi terjadinya takikan dan pencampuran terak pada daerah lasan. Contoh beberapa gerakan elektroda yaitu pola zig-zag, spiral dan lurus pada Gambar 4.



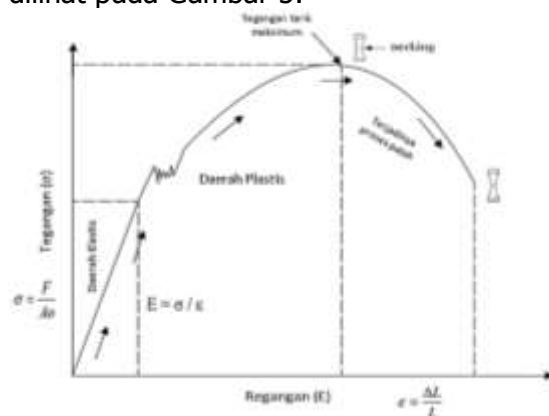
**Gambar 4** Pola-Pola Gerakan Elektroda (Wiryosumarto & Okumura, 2000)

- a. Pola zig-zag merupakan gerakan elektroda yang menyerupai gerakan untuk menjahit dan memperluas area penyambungan/pengelasan. Fungsi dari gerakan ini dimaksudkan untuk memastikan dua atau lebih material yang dilas dapat tersambung dengan baik.

- b. Pola spiral merupakan gerakan elektroda yang gerakannya hampir melingkar dan dilakukan secara kontinyu yang mana dalam pengelasan dimaksudkan untuk meratakan logam lasan pada proses pengelasan agar mendapat hasil yang baik.
- c. Pola lurus merupakan gerakan elektroda yang gerakannya berdasarkan jalur kampuh dan elektroda yang bertujuan untuk mengisi dan menyambung daerah yang dilalui oleh jalur pengelasan.

**Metalurgi Las**  
**Pengujian Tarik pada Standar ASTM E8**

Pengujian tarik adalah proses untuk mengetahui nilai kekuatan tarik suatu material. Kekuatan tarik itu sendiri merupakan kemampuan material untuk menahan beban tarikan terhadap deformasi (perubahan bentuk) yang terjadi. Pada proses pengujian tarik terdapat sebuah siklus yang terjadi pada material yaitu yang pertama adalah proses elastisitas dimana material masih dapat kembali pada posisinya saat mengalami perubahan, yang kedua material berubah menjadi plastis yang mana pada proses ini jika material mengalami perubahan maka tidak akan kembali pada posisi semula, yang ketiga merupakan nilai kekuatan tarik tertinggi (batas maksimal) pada material yang biasanya menyebabkan necking pada baja lunak, yang terakhir adalah material putus. Proses ini dapat dilihat pada Gambar 5.



**Gambar 5** Grafik Tegangan-Regangan

Pada Gambar 5 yang menunjukkan perubahan panjang material disebut regangan ( $\epsilon$ ), dirumuskan dengan:

$$\epsilon = \frac{L - L_0}{L_0} = \frac{\Delta L}{L_0} \times 100\% \quad (2.1)$$

Dimana:

$\epsilon$  = Regangan akibat gaya tarik (%)

$L$  = Panjang material akibat beban tarik (mm)

$L_0$  = Panjang material mula-mula (mm)

Yang menunjukkan stres pada material disebut tegangan ( $\sigma$ ), dirumuskan dengan:

$$\sigma = \frac{F}{A_t} \quad (2.2)$$

Dimana:

$\sigma$  = Tegangan akibat gaya tarik (Mpa)

$F$  = Gaya tarik (N)

$A_t$  = Luas penampang setelah penarikan (mm<sup>2</sup>)

Daerah yang masih memungkinkan material kembali pada bentuk semula berada pada daerah elastis yang disimbolkan dengan  $E$  yang disebut dengan modulus elastisitas yang merupakan formulasi dari hukum Hooke, dirumuskan dengan:

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} \quad (2.3)$$

Dimana:

$E$  = Modulus elastisitas (Mpa)

$\sigma$  = Tegangan (Mpa)

$\epsilon$  = regangan

### 2.10.2. Pengujian Kekerasan pada Standar ASTM E92

Pengujian kekerasan merupakan pengujian yang digunakan untuk mengetahui nilai kekerasan material. Kekerasan material sendiri merupakan sifat mekanis material yang merupakan kemampuan suatu material untuk menahan goresan yang berupa penetrasi atau daya tembus dari bahan lain yang lebih keras.

Pada pengujian kekerasan terdapat 3 metode yaitu *Brinell* yang menggunakan

bola baja, *rockwell* yang menggunakan intan berbentuk kerucut dan *vickers* yang menggunakan intan berbentuk piramid.

Penelitian ini menggunakan pengujian kekerasan dengan metode *vickers* yaitu dengan penekanan yang berupa piramid intan dengan tekanan tertentu guna meninggalkan bekas pada material yang dapat dihitung sebagai nilai kekerasan (VHN). Nilai kekerasan (VHN) dapat dihitung menggunakan rumus:

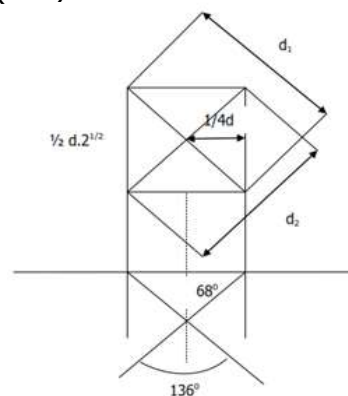
$$VHN = \frac{2 \cdot P \cdot \sin\left(\frac{\theta}{2}\right)}{d^2} = \frac{1,854 \cdot P}{d^2} \text{ (kg/mm}^2\text{)} \quad (2.4)$$

Dimana:

$P$  = Beban yang digunakan (kg)

$\theta$  = Sudut puncak permukaan intan (136°)

$d$  = Panjang diagonal rata-rata jejak (mm)



**Gambar 6** Metode Pengujian Kekerasan Vickers ASTM E92

### Pengamatan Struktur Mikro

Pengamatan struktur mikro merupakan suatu analisa terhadap struktur mikro logam yang diperbesar menggunakan mikroskop khusus metalografi dalam bentuk foto/Gambar. Melalui analisa ini, kita dapat mengamati bentuk, ukuran kristal, komposisi, kerusakan dan perubahan yang terjadi pada suatu logam. Dari pengamatan tersebut, dapat diketahui sifat-sifat logam terutama sifat mekanis dan sifat fisis. Struktur mikro dari logam dapat diubah dengan cara perlakuan panas ataupun dengan proses perubahan bentuk (deformasi) dari logam yang diuji.

## METODOLOGI PENELITIAN

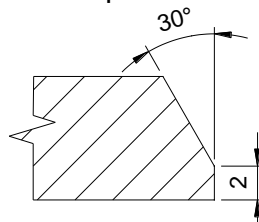
### Material yang Digunakan

#### a. Spesifikasi Material

Material yang digunakan adalah baja komersil dengan tipe besi strip dipotong menggunakan *Cut Off* sesuai dengan lebar  $\pm 3.5$  mm dan panjang 1 bagiannya  $\pm 102$  mm dari 2 bagian.

#### b. Pembentukan Kampuh Las

Pada penelitian ini digunakan kampuh bentuk single V yang pembentukannya dilakukan dengan proses penggerindaan hingga mencapai spesifikasi, kemudian dilakukan Proses pengukuran menggunakan jangka sorong dan busur derajat. Adapun dimensinya dapat dilihat pada Gambar 7.



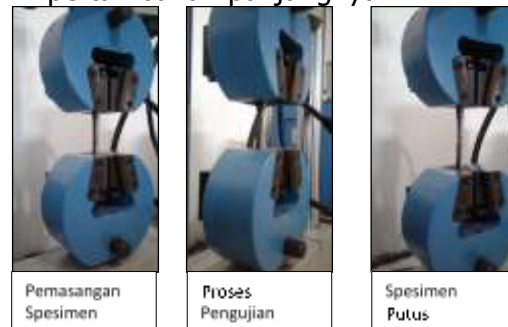
Gambar 7 Dimensi Kampuh V

### Proses Pengujian Pengujian Tarik

Pengujian tarik ini dilakukan untuk mengetahui kuat tarik dari sebuah spesimen dengan memberikan beban tarik searah sumbu secara kontinu. Nilai yang di amati pada pengujian ini berupa besarnya beban yang diberikan pada setiap perpanjangan yang terjadi hingga putus. Adapun prosedur pengujiannya adalah sebagai berikut:

1. Menyiapkan spesimen dengan dimensi sesuai standar ASTM E8.
2. Memasang spesimen pada ragum dengan cara menandai kedua ujung batas jepit spesimen.
3. Gunakan tuas ragum untuk memastikan spesimen terjepit dengan kuat pada ragum mesin uji.
4. Men-setting extensiometer digital dan pembebanan.
5. Mencatat besar beban pada tiap perpanjangan 0.5 mm hingga putus.
6. Matikan mesin uji setelah spesimen putus.

7. Catat gaya tarik maksimum dan pertambahan panjangnya.



Gambar 8 Pengujian Tarik

### Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan ini dilakukan untuk mengetahui kekerasan material dengan cara memberikan tekanan pada permukaannya. Metode yang digunakan pada pengujian ini adalah metode vickers, berikut prosedur pengujiannya:

1. Siapkan spesimen yang telah rata dan terpoles permukaannya.
2. Letakan spesimen pada landasan tekan alat uji.
3. Melakukan penekanan pada spesimen dengan tekanan 125 kg sebanyak 13 titik secara zig-zag.



Gambar 9 Posisi Penitikan Permukaan Spesimen

4. Penekanan pada permukaan spesimen ditahan selama 12 detik.
5. Ukur dimensi bekas penekanan Vickers melalui *scree focus* alat uji.
6. Catat semua hasil pengukuran dan pengamatan.



Gambar 10 Pengujian Kekerasan Vickers Pengamatan Struktur Mikro

Pengamatan struktur mikro merupakan cara untuk mengetahui struktur suatu material dalam orde kecil, yang bertujuan untuk mengetahui bentuk, ukuran dan banyaknya bagian dari struktur yang berbeda dari suatu material.



Berikut prosedur pengamatan struktur mikro:

1. Menyiapkan spesimen dan mikroskop.
2. Meletakkan spesimen di bawah lensa obyektif mikroskop. Permukaan spesimen yang diamati jangan sampai tersentuh tangan.
3. Pengamatan dilakukan mulai dengan lensa obyektif pada pembesaran yang paling kecil.
4. Memfokuskan jarak antara lensa obyektif dengan permukaan spesimen.



**Gambar 11** Pengamatan Struktur Mikro

## PEMBAHASAN

### Hasil Pengujian Tarik

Pengujian tarik digunakan untuk mengetahui sifat kuat tarik pada spesimen uji. Pengujian tarik ini akan menghasilkan tegangan ( $\sigma$ ), regangan ( $\epsilon$ ) dan elastisitas ( $E$ ). Selain itu, pengujian tarik pada raw material dapat mempermudah untuk menentukan jenis/tipe baja pada material tersebut.

Pada pengujian tarik untuk spesimen beda gerakan elektroda dan raw material diperoleh hasil perhitungan yang dapat dilihat pada Tabel 2 berikut:

**Tabel 2** Data Hasil Uji Tarik

NO	PARAMETER	SPESIMEN				
		Raw Material	Lurus	Zig-zag	Spiral	
1	TEGANGAN $\sigma$ (MPa)	789,09	648,11	558,70	594,52	
2		755,80	603,40	616,08	614,05	
3		802,16	617,24	584,55	609,68	
4				557,13	639,14	641,26
5				644,10	581,54	623,50
	RATA-RATA	782,35	614,00	596,00	616,60	
1	REGANGAN $\epsilon$ (%)	36,49%	34,21%	34,21%	35,09%	
2		37,19%	21,76%	23,47%	18,13%	
3		36,63%	24,43%	21,76%	21,87%	
4				7,86%	13,44%	11,20%
5				10,45%	21,65%	10,77%
	RATA-RATA	36,77%	19,74%	22,91%	19,41%	
1	ELASTISITAS $E$ (MPa)	8733,80	6810,48	7055,77	7967,91	
2		8906,06	13287,03	11608,37	11597,24	
3		7916,45	12382,14	10985,08	12597,93	
4				14674,99	12505,38	13407,03
5				13195,44	9542,81	12601,89
	RATA-RATA	8518,77	12070,02	10339,48	11634,40	

Berdasarkan Tabel 2, dapat ditentukan tipe baja berdasarkan kuat tarik pada raw material. Dalam DIN 17100 berdasarkan *tensile strength* dengan ketebalan material  $\geq 3$  mm dan  $\leq 100$  mm dengan kuat tarik antara 670-830 Mpa maka ditentukan *steel grade* dengan kode ST 70-2.



**Gambar 12** Grafik Nilai Tegangan

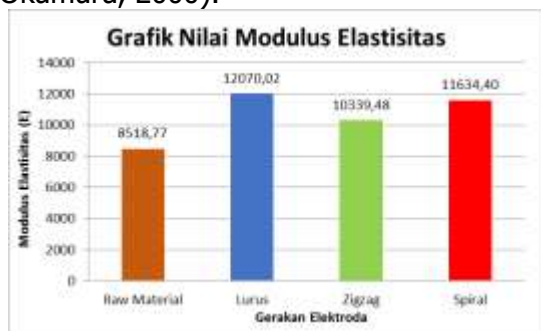
Berdasarkan Gambar 12, diperoleh nilai tegangan tertinggi pada raw material dengan tegangan yaitu 782,35 Mpa, kemudian diikuti dengan gerakan elektroda spiral yaitu 616,6 Mpa, gerakan elektroda lurus yaitu 614 Mpa dan gerakan elektroda zig-zag yaitu 596 Mpa. Hal yang menyebabkan perbedaan yang besar pada tegangan antara raw material dan spesimen hasil lasan yaitu dipengaruhi oleh proses pengelasan karena pada proses tersebut menimbulkan panas dan mengubah sifat mekanis dari materialnya yang menghasilkan spesimen hasil lasan mempunyai kuat tarik (tegangan) yang lebih rendah (menurun).

Sedangkan perbedaan kuat tarik (tegangan) pada spesimen pengelasan beda gerakan elektroda disebabkan oleh pengaruh siklus thermal pada area logam lasan dan HAZ, karena pada tiap beda gerakan elektroda memiliki area jangkauan lasan dalam pengelasan dan panas yang masuk berbeda pula. Untuk nilai tegangan tarik terbesar pada spesimen pengelasan beda gerakan elektroda berada pada gerakan spiral yaitu 616,6 Mpa.



**Gambar 13** Grafik Nilai Regangan

Pada Gambar 13, dapat dilihat bahwa nilai regangan yang tertinggi terdapat pada raw material yaitu 36,77%, yang diikuti dengan gerakan elektroda zig-zag yaitu 22,91%, gerakan elektroda lurus 19,74% dan gerakan elektroda spiral yaitu 19,41%. Pada grafik regangan ini dapat dilihat bahwa pada spesimen hasil lasan memiliki hasil berbanding terbalik dengan grafik tegangan, yaitu ketika nilai tegangannya tinggi maka nilai regangannya rendah, tetapi tidak terjadi pada raw material yang memiliki nilai tegangan serta regangan yang tinggi. Hal ini disebabkan oleh pengaruh proses pengelasan yang menimbulkan terjadinya siklus termal yang merubah sifat dari material tersebut (Wirjosumarto & Okumura, 2000).



**Gambar 14** Grafik Nilai Modulus Elastisitas

Pada Gambar 14, dapat dilihat bahwa gerakan elektroda lurus memiliki elastisitas tertinggi yaitu 12070,02 Mpa, diikuti dengan gerakan elektroda spiral yaitu 11634,4 Mpa, gerakan elektroda zig-zag yaitu 10339,48 Mpa dan yang terendah raw material yaitu 8518,77 Mpa. hal ini membuktikan bahwa proses pengelasan dapat meningkatkan sifat elastisitas pada material meningkat.

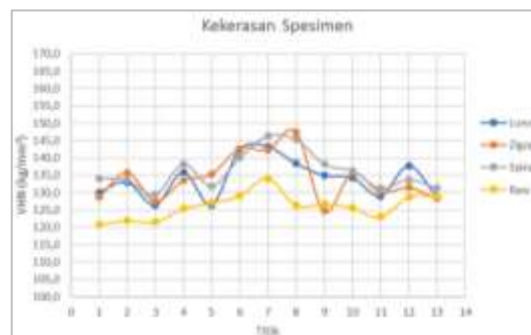
### Hasil Uji Kekerasan Vickers

Pengujian kekerasan ini dilakukan untuk mengetahui kekerasan dari material

dengan satuan VHN ( $\text{kg/mm}^2$ ) pada permukaan spesimen uji. Tabel 3 menunjukkan hasil pengujian kekerasan berdasarkan spesimen ujinya.

**Tabel 3** Hasil Uji Kekerasan Vickers

Titik	Nilai Rata-rata Kekerasan Spesimen VHN ( $\text{kg/mm}^2$ )				
	Daerah	lurus	zigzag	spiral	Raw
1	Logam Induk	130,10	128,71	134,14	120,88
2		133,00	135,75	133,63	121,94
3		126,43	127,55	129,47	121,61
4		135,87	133,44	138,24	125,40
5		126,43	135,30	131,92	127,09
6	Haz	142,27	142,71	140,02	129,10
7	Lasan	143,19	142,23	146,34	134,13
8	Haz	138,37	147,44	145,40	126,32
9	Logam Induk	134,94	124,66	138,23	126,79
10		134,30	135,64	136,32	125,64
11		129,02	130,15	131,27	123,01
12		137,64	131,43	133,72	128,78
13		128,87	128,31	131,39	128,86



**Gambar 15** Grafik Kekerasan Spesimen

Dapat dilihat pada Gambar 15. grafik kekerasan spesimen menunjukkan bahwa spesimen yang dilakukan proses pengelasan memiliki nilai kekerasan yang lebih tinggi dibandingkan dengan raw material. Hal tersebut disebabkan oleh proses pengelasan yang menimbulkan panas dan mengakibatkan terjadinya siklus termal yang mengubah sifat dari materialnya. Nilai kekerasan tertinggi pada raw material adalah 134,13  $\text{kg/mm}^2$ .

Selain itu, yang ditunjukkan pada grafik kekerasan adalah bentuk tingkatan kekerasan pada spesimen lasan beda gerakan elektroda, yang mana kekerasan tertinggi terdapat pada area tengah yang merupakan logam lasan dan daerah HAZ. Nilai kekerasan tertinggi terdapat pada spesimen lasan dengan gerakan elektroda zig-zag yaitu 147,44  $\text{kg/mm}^2$ , yang diikuti dengan gerakan elektroda spiral yaitu 146,34  $\text{kg/mm}^2$ , gerakan elektroda lurus 143,19  $\text{kg/mm}^2$ . Adapun kekerasan pada



spesimen lasan yang membentuk zig-zag (tidak beraturan) disebabkan oleh pengambilan titik pengujian kekerasan pada spesimen uji membentuk zig-zag pula dan titik yang memiliki kekerasan yang lebih tinggi terdapat pada area permukaan yang lebih dekat dengan arah pengelasan. Hal ini disebabkan oleh siklus termal yang terjadi pada waktu pengelasan. Karena siklus termal yang terjadi sangat rumit maka dengan sendirinya perubahannya pun sangat rumit (Wirjosumarto & Okumura, 2000).

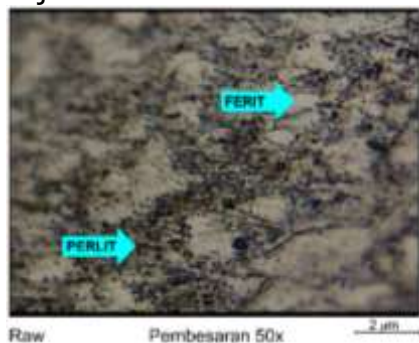
Dari hasil pengujian kekerasan ini, bisa dilihat bahwa gerakan elektroda pada pengelasan diperoleh hasil kekerasan tertinggi pada pengelasan dengan gerakan zig-zag yaitu 147,44 kg/mm<sup>2</sup>.

### Hasil Pengamatan Struktur Mikro

Hasil pengamatan struktur mikro didapatkan dari hasil pengamatan permukaan spesimen uji yang menggunakan mikroskop optik dengan pembesaran tertentu. Berikut hasil yang didapatkan dari pengamatan pada permukaan spesimen uji.

### Struktur Mikro RAW Material

Raw material merupakan spesimen yang memiliki kesamaan sifat dan struktur mikro materialnya dengan daerah base metal (logam induk) pada spesimen lasan, yang mana merupakan bagian dari material yang tidak mengalami perubahan akibat panas yang masuk. Dari pengujian tarik diketahui bahwa raw material ini merupakan baja st 70-2 yang merupakan jenis baja karbon.

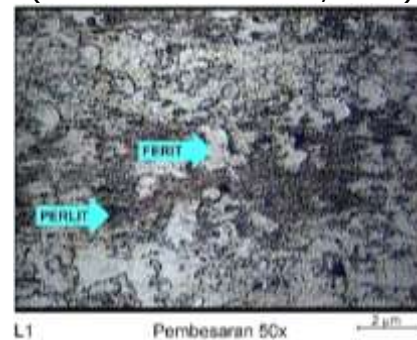


**Gambar 16** Foto Struktur Mikro Raw Material  
Dapat dilihat pada Gambar 16, foto struktur mikronya menunjukkan kandungan ferit yang memiliki ciri-ciri berwarna putih dan perlit yang memiliki

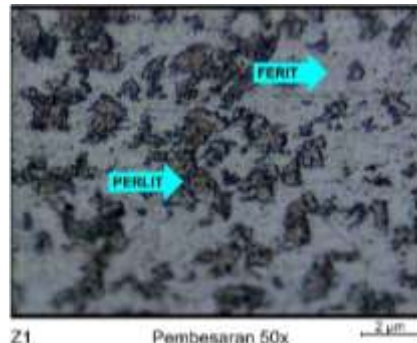
ciri-ciri berwarna hitam (Sonawan & Suratman, 2006). Dengan ukuran dan kandungan ferit yang lebih mendominasi dapat diketahui bahwa raw material atau base metal memiliki sifat yang ulet dan ketangguhan yang baik.

### Struktur Mikro Logam Las

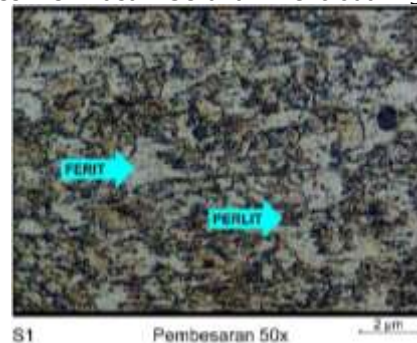
Logam lasan ini merupakan material logam induk dan elektroda yang melebur dan bercampur saat proses pengelasan berlangsung yaitu pada saat fasa cair/*liquid* dengan temperatur berada lebih dari 1500°C yang kemudian menjadi *solid solution* dan mengalami proses pembekuan/*solid*. Struktur mikro yang biasanya terbentuk dicirikan dengan struktur yang berbutir panjang/*columnar grains* (Sonawan & Suratman, 2006).



**Gambar 17** Foto Struktur Mikro Logam Las Spesimen Lasan Gerakan Elektroda Lurus



**Gambar 18** Foto Struktur Mikro Logam Las Spesimen Lasan Gerakan Elektroda Zig-zag



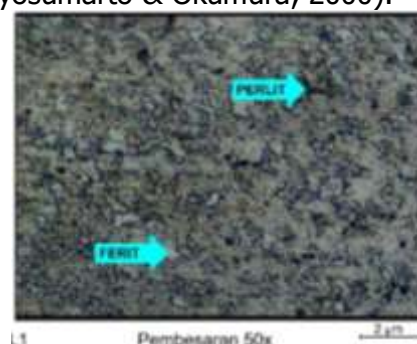
**Gambar 19** Foto Struktur Mikro Logam Las Spesimen Lasan Gerakan Elektroda Spiral

Pada Gambar 17, menunjukkan foto struktur mikro dari logam lasan dengan gerakan elektroda lurus, yang mana struktur butirnya memiliki ukuran dan jarak yang tidak beraturan serta kandungan dari ferit yang lebih banyak dari perlit yang menyebabkan materialnya memiliki sifat yang tangguh. Hal ini disebabkan oleh gerakan elektroda lurus yang mana menimbulkan sekali proses penetasi panas pada bagian logam lasan. Pada Gambar 18, menunjukkan foto struktur mikro dari logam lasan dengan gerakan elektroda zig-zag, yang mana struktur butirnya memiliki ukuran yang besar dengan jarak yang hampir sama dekatnya serta kandungan ferit yang lebih mendominasi dari pada perlit yang menyebabkan materialnya memiliki sifat dominan yang tangguh. Hal ini disebabkan oleh gerakan elektroda zig-zag yang pada saat pengelasan memberikan pengaruh penetrasi panas yang lebih lama dibandingkan gerakan lurus sehingga struktur butirnya dapat terbentuk dengan rapi. Pada Gambar 19, menunjukkan foto struktur mikro dari logam lasan dengan gerakan elektroda spiral, yang mana struktur butirnya memiliki ukuran yang hampir seragam dan memiliki jarak yang rapat dengan kandungan ferit dan perlit yang seimbang menyebabkan materialnya memiliki sifat yang keras dan juga tangguh. Hal ini disebabkan oleh gerakan elektroda spiral ketika proses pengelasan menimbulkan terjadinya penetrasi panas berulang pada material lasan.

#### Struktur Mikro Daerah HAZ

Daerah HAZ merupakan daerah dari sebuah material induk yang terkena pengaruh oleh panas pada saat proses pengelasan berlangsung. Temperatur yang terjadi pada daerah ini memiliki nilai yang lebih rendah dari pada logam lasan yang mencair yaitu pada temperatur *solid solution*. Proses perubahan struktur mikro ketika pendinginan lambat yang terjadi yaitu temperatur berada pada suhu  $\pm 680^{\circ}\text{C}$ , maka ferit akan terendapkan dari austenit kemudian pada saat temperatur  $\pm 590^{\circ}\text{C}$  mulai pengendapan struktur perlit hingga suhu  $\pm 520^{\circ}\text{C}$  kemudian akan

terbentuk struktur ferit dan perlit (Wiryosumarto & Okumura, 2000).



**Gambar 20** Foto Struktur Mikro Daerah HAZ Spesimen Lasan Gerakan Elektroda Lurus



**Gambar 21** Foto Struktur Mikro Daerah HAZ Spesimen Lasan Gerakan Elektroda Zig-zag



**Gambar 22** Foto Struktur Mikro Daerah HAZ Spesimen Lasan Gerakan Elektroda Spiral

Pada Gambar 20, menunjukkan foto struktur mikro daerah HAZ spesimen pengelasan dengan gerakan elektroda lurus, yang mana memiliki butiran yang kecil dengan jumlah ferit dan perlit yang relatif seimbang. Pada Gambar 21, menunjukkan foto struktur mikro daerah HAZ spesimen pengelasan dengan gerakan elektroda zig-zag, yang mana memiliki ukuran butir yang besar dengan jumlah ferit dan perlit yang lebih banyak dari pada gerakan elektroda lurus. Pada Gambar 22, menunjukkan foto struktur mikro daerah HAZ spesimen pengelasan dengan gerakan elektroda spiral, yang mana memiliki butiran yang bercampur

antara besar dan kecil dengan kandungan ferit sedikit lebih banyak dari pada perlit. Hal ini menunjukkan bahwa sifat mekanis dari ketiga jenis gerakan elektroda ini adalah getas/keras, walaupun memiliki sedikit perbedaan. Struktur mikro pada daerah HAZ memiliki ciri-ciri yang kasar dan ketangguhan yang rendah (Sonawan & Suratman, 2006).

#### **KESIMPULAN**

Dari hasil penelitian dan pembahasan tentang analisis kekuatan tarik, kekerasan dan struktur mikro pada pengelasan SMAW yang menggunakan elektroda E 6013 dengan variasi gerakan elektroda, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Nilai kuat tarik tertinggi pada gerakan elektroda spiral yaitu 616,6 Mpa dan terendah pada gerakan elektroda zig-zag yaitu 596 Mpa.
2. Nilai kekerasan tertinggi terdapat pada pengelasan dengan gerakan elektroda zig-zag yaitu 147,44 kg/mm<sup>2</sup> dan yang terendah pada gerakan elektroda lurus yaitu 143,19 kg/mm<sup>2</sup>.
3. Hasil pengamatan struktur mikro yang menunjukkan struktur butir yang rapi dan rapat serta mempunyai kandungan perlit dan ferit seimbang terdapat pada bagian logam lasan dan daerah HAZ dengan gerakan elektroda spiral.

#### **DAFTAR PUSTAKA**

- ASTM E92-82, 1997, *Standard Test Methods for Vickers Hardness of Metallic Materials*.
- ASTM E8, 2010, *Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials*.
- Cary, H.B., 1998, *Modern Welding Technology*, 4<sup>th</sup> Edition, Prentice Hall, New Jersey.
- DIN 17100, 1980, *Steel For General Structural Purposes*.
- Djamiko, R.D., 2008, Teori Pengelasan Logam, Universitas Negeri Yogyakarta, Yogyakarta.
- Kurniawan, A.S., 2014, "Analisis Kekuatan Tarik dan Struktur Mikro Pada Baja St41 Akibat Perbedaan Ayunan Elektroda Pengelasan SMAW", Jurnal Teknik Mesin, Tahun 22, No. 2, Hal. 1-11.
- Pranawan, D.F.B., & Suwito, D., 2016, "Pengaruh Teknik Pengelasan Alur Spiral, Alur Zig – Zag dan Lurus Pada Arus 85 A Terhadap Kekuatan Tarik Baja St41", Jurnal Teknik Mesin, Vol. 04, No. 02, Hal. 29-32.
- Sonawan, H., & Suratman, R., 2006, Pengantar Untuk Memahami Proses Pengelasan Logam, Cetakan Ke-2, Alfabeta, Bandung.
- Setiawan, F., 2016, "Pengaruh Variasi Sudut Kampuh V Dan Kuat Arus Dengan Las Shielded Metal Arc Welding (SMAW) Pada Baja A36 Terhadap Sifat Mekanik", Jurnal Ilmiah Teknik Mesin Umsida, Hal. 1-9.
- Wiryosumarto, H., & Okumura, T., 2000, Teknologi Pengelasan Logam, Cetakan Kedelapan, Pradnya Paramita, Jakarta.