



## Analisa variasi gerakan elektroda pada hasil las material baja karbon rendah ST37 terhadap kekuatan *bending* dan kekerasan

Bahdin Ahad Badia<sup>1\*</sup>, Muhammad Halim Asiri<sup>2</sup>, Mardin Husen<sup>2</sup>,

<sup>1</sup>Mahasiswa Program Magister Teknik Mesin, Universitas Muslim Indonesia

<sup>2</sup>Dosen Jurusan Teknik Mesin, Universitas Muslim Indonesia

Jl. Inspeksi Kanal No.2, Panakkukang, Kota Makassar, Sulawesi Selatan

\*Email: bahdin.kdi@gmail.com

### Abstrak

Kemajuan teknologi di bidang pengelasan semakin berkembang, baik proses pengelasan yang menggunakan material tambah atau filler maupun tanpa menggunakan material tambah. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui kekuatan bending dan kekerasan pada sambungan hasil pengelasan dengan berbagai variasi gerakan elektroda lurus, gerakan elektroda melingkar, dan gerakan elektroda zigzag. Proses pengelasan menggunakan mesin las SMAW dengan arus pengelasan 75A-95A, kawat elektroda E6013 diameter 2,6 mm, material yang digunakan adalah baja karbon rendah ST37 yang beri kampuh V sudut 60°. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pengujian *bending* sambungan las tertinggi terjadi pada gerakan elektroda lurus dengan nilai kekuatan bending rata-rata tertinggi sebesar 443,469 N/mm<sup>2</sup>, sedangkan nilai kekuatan bending rata-rata terendah pada pengelasan gerakan elektroda zigzag sebesar 326,979 N/mm<sup>2</sup>. Nilai kekerasan *microvickers* HAZ rata-rata tertinggi terdapat pada pengelasan gerakan elektroda zigzag sebesar 180.63 HV1, sedangkan nilai kekerasan *Vickers* HAZ terendah terdapat pada pengelasan gerakan elektroda melingkar sebesar 172.83 HV1.

**Kata kunci** : SMAW, Gerakan Elektroda, Material ST37, Kekuatan bending, Kekerasan

### *Analysis of variations in electrode motion on the welding results of low carbon steel ST37 on bending strength and hardness*

#### Abstrack

*There are more and more technological advances in the field of welding, both in the welding process that uses added materials or fillers or without using added materials. The purpose of this study was to determine the bending strength and hardness of the welded joints with various variations of straight electrode motion, circular electrode motion, and zigzag electrode motion. The welding process uses a SMAW welding machine with a welding current of 75A-95A, E6013 electrode wire with a diameter of 2.6 mm, the material used is low carbon steel ST37 with a V angle of 60°. The results showed that the highest bending test for welding joints occurred in straight electrode motion with the highest average bending strength value of 443.469 N/mm<sup>2</sup>, while the lowest average bending strength value for welding zigzag electrode motion was 326.979 N/mm<sup>2</sup>. The highest average HAZ hardness value was found in the welding of the zigzag electrode motion of 180.63 HV1, while the lowest vickers HAZ hardness value was found in circular electrode motion welding of 172.83 HV1.*

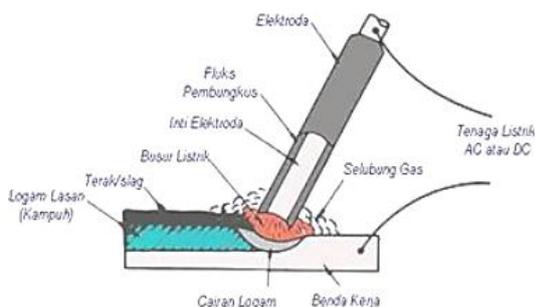
**Keywords**: SMAW, Electrode Movement, bending strength, hardness, ST37 Material

## 1. Pendahuluan

Perkembangan di bidang konstruksi mengalami kemajuan sangat pesat. Kemajuan ini tidak dapat dipisahkan dari sistem pengelasan karena mempunyai peranan yang penting dalam merakayasa dan mereparasi logam. Pengelasan saat ini banyak dilibatkan dalam proses pembangunan konstruksi yakni proses penyambungan logam. Teknik penyambungan pengelasan yang berkualitas tentunya akan menentukan kualitas dari konstruksi yang dirancang. Ruang lingkup penggunaan teknik pengelasan atau penyambungan logam dalam dunia konstruksi sangat luas meliputi: perkapalan, jembatan, rangka baja, bejana tekan, sarana transportasi, rel, pipa saluran, dan lain sebagainya.

Pengelasan menggunakan busur nyala listrik sebagai panas pencair logam disebut sebagai

pengelasan SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*). Busur listrik terbentuk di antara elektroda terlindung dan logam induk. Panas dari busur listrik maka logam induk dan ujung elektroda mencair dan membeku bersama[1].



**Gambar 1.** Proses pengelasan SMAW[1]

Prosedur pengelasan merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi las yaitu suatu perencanaan untuk melakukan penelitian yang meliputi cara pembuatan konstruksi las yang sesuai rencana dan spesifikasi. Penentuan hal tersebut diperlukan dalam pelaksanaan. Jadwal pembuatan, proses pembuatan, alat dan material yang diperlukan, urutan pelaksanaan, persiapan pengelasan (meliputi: pemilihan mesin las, penunjukan juru las, pemilihan elektroda, penggunaan jenis kampuh) merupakan faktor produksi pengelasan [1].

Kandungan baja karbon adalah 0.3% karbon atau kurang. Di dalam struktur umum biasanya menggunakan baja karbon rendah atau *mild steel*. *Mild steel* mengandung karbon 0,25% atau kurang dan *tensile strength* sekitar 400 N/mm<sup>2</sup> atau kurang.

Pelat baja merupakan lembaran baja yang memiliki ketebalan yang relatif kecil dibandingkan ukuran panjang dan lebar lembarnya. Proses teknik rol membuat lembaran baja mudah dilas dan dibentuk. Pelat baja juga banyak digunakan dalam konstruksi baja, dalam hal ini konstruksi jembatan.

Material bangunan yang sangat kuat dan liat serta memiliki struktur buktir yang halus. Pengerjaan dapat dilakukan dalam kondisi panas maupun dingin salah satunya adalah pelat ST 37 dan termasuk ke dalam jenis baja karbon rendah yang memiliki kandungan kadar karbon 0,2 %. ST 37 juga memiliki kemiripan dengan S235JR atau Q235. Namun tidak sekuat ASTM A36 biasa, akan tetapi banyak digunakan dalam kehidupan sehari-hari dan aplikasi struktural dengan kekuatan tinggi yang tidak begitu penting. Komposisi kimia dan sifat mekanik dari logam induk ditunjukkan pada Tabel 1 dan Tabel 2.

**Tabel 1.** Komposisi kimia ST37

C	S	Mn	P	S	N
max (%)	max (%)	max (%)	max (%)	max (%)	max (%)
0.20	0.15-0.35	0.35-0.75	0.050	0.050	0.011

**Tabel 2.** Sifat mekanik ST37

UTS (MPa)	Yield Point (MPa)	Elongation (%)
360-460	235	25

Kemampuan dan perilaku dari suatu material ketika menerima suatu pola pembebanan tertentu disebut sifat mekanik. Kekuatan tarik, kekuatan luluh, kekerasan, keuletan, ketangguhan, ketahanan aus, ketahanan *creep*, ketahanan terhadap rambat retak, ketahanan pada temperatur tinggi merupakan sifat material dan termasuk sifat mekanik. Pada pengaplikasian sifat yang dimiliki oleh material tidaklah harus unggul seluruhnya. Namun, cukup beberapa sifat saja dan sifat tersebut memiliki keterkaitan langsung dengan persyaratan aplikasinya. Sifat yang harus dipenuhi tentu saja didasarkan pada optimasi sifat-sifat yang dimiliki dan kondisi aplikasinya. Beberapa sifat mekanik material menunjukkan adanya kecenderungan dengan perilaku yang sering berlawanan. Ketika suatu material harus memiliki keuletan tinggi, material tersebut cenderung memiliki keuletan tinggi, maka material tersebut cenderung memiliki kekuatan yang relatif rendah. Dengan demikian, pemilihan suatu material akan menjadi optimasi antara beberapa sifat yang dimiliki dengan pola pembebanannya.[2]

Sifat mekanik suatu logam sangat dipengaruhi oleh struktur mikro logam di samping komposisi kimianya. Suatu logam atau paduan akan memiliki sifat mekanis yang berbeda-beda bila struktur mikronya diubah atau mengalami perumaterial. Suatu logam dapat mengalami perumaterial, baik dengan pemanasan maupun pendinginan. Perumaterial ini akan mengakibatkan sifat mekanik dan struktur mengalami perumaterial meskipun memiliki komposisi kimia yang sama. Struktur mikro tergantung pada proses pengerjaan yang dialami, terutama proses perlakuan panas yang diterima selama proses pengerjaan.

Berbagai model gerakan dalam menggerakkan atau mengayukan elektroda. Gerakan elektroda las bertujuan untuk mendapatkan deposit logam las dengan permukaan yang rata dan halus dan menghindari terjadinya takikan dan percampuran terak. Pada gerakan elektroda yang penting adalah menjaga agar sudut elektroda dan kecepatan gerakan elektroda tidak berubah [1].

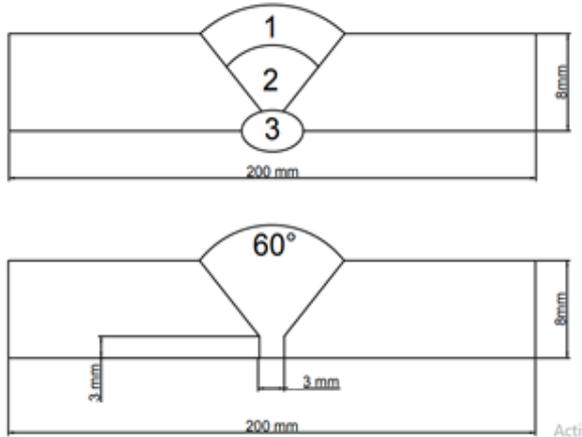
Berdasarkan penelitian yang terdahulu tentang pola gerakan elektroda terhadap nilai kekerasan hasil kekuatan sambungan pengelasan SMAW pada baja karbon yang telah dilakukan, pola gerakan elektroda memberikan pengaruh pada hasil kekerasan[3][4][5]. Gerakan elektroda memberikan pengaruh yang nyata terhadap kekuatan bending[6][7][8].

## 2. Metode Penelitian

### a. Proses Pengelasan

Material yang digunakan pada penelitian ini adalah material baja karbon rendah ST37. Pemotongan lembaran pelat menggunakan gas *oxy-acetylene* dengan ukuran panjang 500 mm, lebar 200 mm, dan tebal 8 mm untuk masing-masing pengelasan dengan menggunakan gerakan elektroda

(gerakan elektroda lurus, gerakan elektroda melingkar, dan gerakan elektroda zigzag) sebanyak 3 lembar pelat. Setelah pemotongan dilakukan pendinginan dengan cara didiamkan beberapa saat. Pendinginan menggunakan metode udara alami atau suhu lingkungan.



**Gambar 2.** Bentuk kampuh V 60° [9]

Penelitian ini juga menentukan jenis elektroda dan ukuran yang digunakan serta posisi pengelasan yang sesuai dengan WPS (*Welding Specification Procedure*). [9]

**Tabel 3.** Kawat Elektroda las

Nikko Steel Welding Electrodes RD 460	
Spesification	AWS A5.1 E6013
	JIS Z 3211 D4313
Type of Covering	Hight Titania
Use	Mild Steel

**Tabel 4.** WPS (*Welding Specification Procedure*)

Layer	Filler Metal		Current	
	Class	Dia	Polarity	Ampere
Root Pass	E6013	2.6	DCEN	75
Fill Pass	E6013	2.6	DCEP	85
Capping Pass	E6013	2.6	DCEP	95

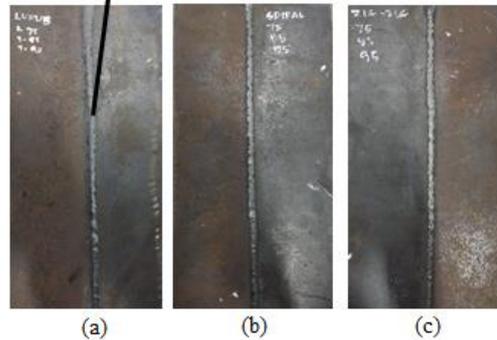
Permukaan pelat dibersihkan dari berbagai hal yang dapat membuat kegagalan pada saat proses pengelasan. Pengelasan pada posisi 1 G (*Dond Hand*), kawat elektroda dipanaskan terlebih dahulu pada suhu 80°C selama 60 menit, polaritas arus DCEN untuk pengelasan akar (*root pass*), arus DCEP untuk pengisian las dan permukaan las (*fill pass and capping pass*), tegangan sebesar 22 volt, alur las berupa single-V dengan sudut 60°, jarak antar pelat sebesar 3 mm. Besarnya arus listrik yang digunakan sebesar 75 A- 95 A dan pada proses

pengelasan menggunakan jenis kawat elektroda E6013 dengan ukuran diameter 2.6 mm dan pengukuran distorsi pada hasil pengelasan menggunakan dial indikator dan hasil pengelasan seperti Gambar 3 dan 4.



**Gambar 3.** Dial Indikator

Logam las (*weld metal*)



**Gambar 4.** Hasil pengelasan menggunakan: (a). Gerakan elektroda lurus, (b). gerakan elektroda melingkar, dan (c). gerakan elektroda zigzag

## b. Parameter Pengujian

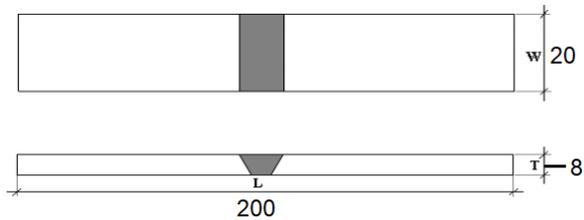
### 1. Pengujian Bending

Pengujian kekuatan bending dilakukan menggunakan Mesin seri AND RTF-2425 300 kN yang ditunjukkan pada Gambar 5 dan spesimen uji tarik ditunjukkan pada Gambar 6.



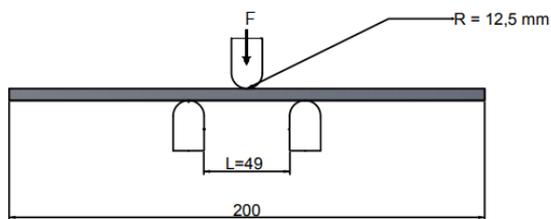
**Gambar 5.** Mesin uji bending

Spesimen uji dibuat dan pengujian bending mengacu pada standar ASTM E290[10]. Dimensi spesimen bending dapat dilihat pada gambar 10. Skematik metode *three point bending* dan spesimen pengujian bending dapat dilihat pada Gambar 7 dan Gambar 8.

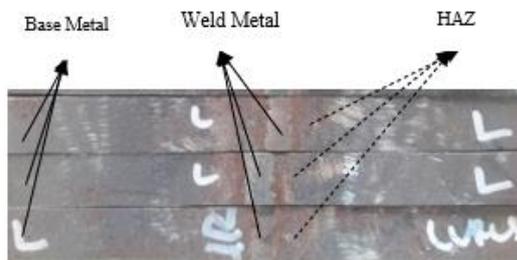


**Gambar 6.** Standar pengujian bending[10]

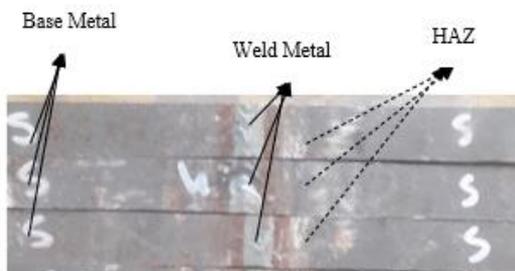
Pengujian bending spesimen dilakukan dengan metode *three point bending* mengacu pada standar ASTM E290[10].



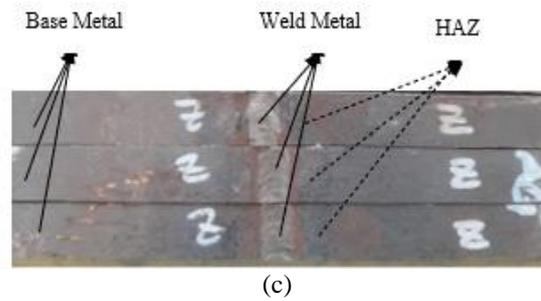
**Gambar 7.** Skematik metode *three point bending*



(a)



(b)

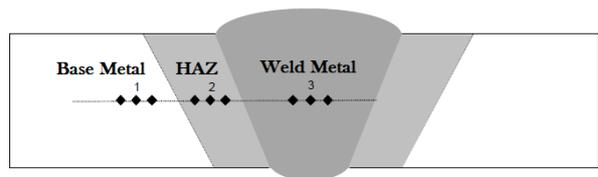


(c)

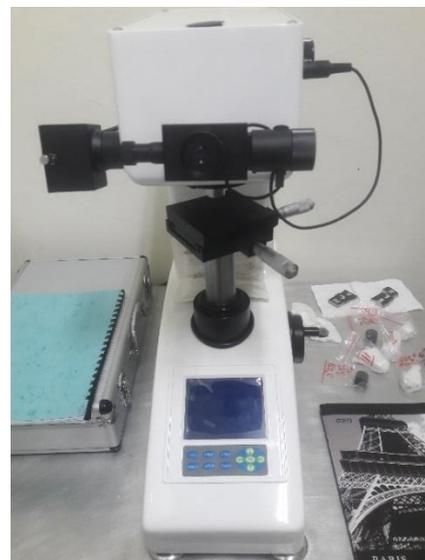
**Gambar 8.** Spesimen pengujian bending hasil pengelasan menggunakan: (a). Gerakan elektroda lurus, (b). gerakan elektroda melingkar, dan (c). gerakan elektroda zigzag

### 3. Uji Kekerasan (*Hardness Test*)

Pengujian kekerasan pada sambungan las dilakukan menggunakan *microhardness testing* yang mengacu pada ASTM E384[11]. Dalam uji kekerasan dilakukan pengambilan sampel sebanyak tiga titik pada setiap area yang diuji seperti yang ditunjukkan pada Gambar 9 dan Gambar 10.



**Gambar 9.** Pengujian kekerasan spesimen las



**Gambar 10.** Alat uji kekerasan *vickers*

### 3 Hasil dan Pembahasan

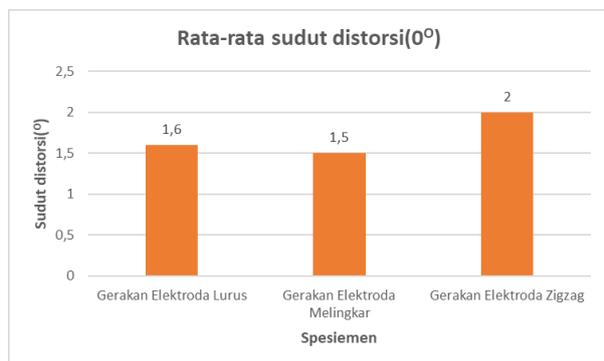
**Tabel 5.** Kecepatan pengelasan

Spesimen	Travel Speed (mm/s)
Gerakan Elektroda Lurus	1,222
Gerakan Elektroda Melingkar	1,260
Gerakan Elektroda Zigzag	1,254

Hasil pengelasan pada material baja karbon rendah diperoleh berdasarkan hasil pengamatan dan pengukuran baik secara visual maupun dengan menggunakan *dial indicator*.

Beberapa hasil pengamatan visual yang diperoleh diantaranya yaitu: 1) profil sambungan las yang berupa ketinggian *reinforcement*, ketinggian penetrasi, kerataan *bead*, dan perbedaan *stop start*, 2) cacat dimensional yang berupa distorsi dan *missalignment*, 3) cacat struktural yaitu mengetahui *undercut*, *overlap*, *lag of penetration*, *porositi*, dan *crack*.

Benda kerja mengalami perumaterial sudut setelah dilakukan proses pengelasan. Besar perumaterial sudut yang diperoleh berdasarkan hasil penelitian setiap spesimen berbeda-beda bahkan jika dilihat dari dimensi kampuh juga mengalami perbedaan. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 11.

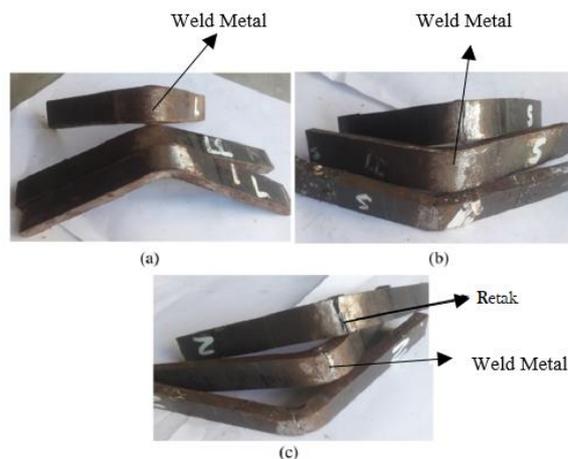


**Gambar 11.** Rata-rata sudut distorsi dengan variasi gerak elektroda

Dari hasil pengelasan tersebut setiap spesimen hasil pengelasan dengan menggunakan variasi gerakan elektroda dilakukan pengujian tarik uji bending dan kekerasan.

#### a. Pengujian Bending

Ketangguhan suatu material dapat dilihat dengan metode pengujian bending yakni dengan memberikan beban tertentu ke material. Pengujian bending dilakukan pada *root bend*. Hasil pengujian bending dapat dilihat pada Gambar 12 berikut ini.



**Gambar 12.** Hasil uji *root bend* dari proses pengelasan menggunakan: (a). gerakan elektroda lurus, (b). gerakan elektroda melingkar, dan (c). gerakan elektroda zigzag.

Adapun data hasil pengamatan pada pengujian tarik logam induk, pengelasan gerakan elektroda lurus, pengelasan gerakan elektroda melingkar, dan pengelasan gerak elektroda zigzag. Hasil pengujian bending diperlihatkan pada Tabel 6 dan 7.

**Tabel 6.** Hasil uji kekuatan bending logam induk

Spesimen	Beban Maksimal (KN)	$\sigma_b$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\delta$ (mm)
<b>Lurus</b>	11,745	674,420	21,770
	2,752	158,025	8,326
	8,672	497,963	22,880
<b>Melingkar</b>	10,123	581,282	23,962
	4,540	158,025	32,060
	3,378	497,963	23,840
<b>Zigzag</b>	6,425	315,418	12,860
	5,493	167,557	30,090
	2,918	497,963	17,959

Dari hasil perhitungan pengujian kekuatan bending, didapatkan perhitungan rata-rata kekuatan bending dan defleksi pengelasan gerakan elektroda lurus, gerakan elektroda melingkar, dan pengelasan gerakan elektroda zigzag, dapat dilihat pada Tabel 7.

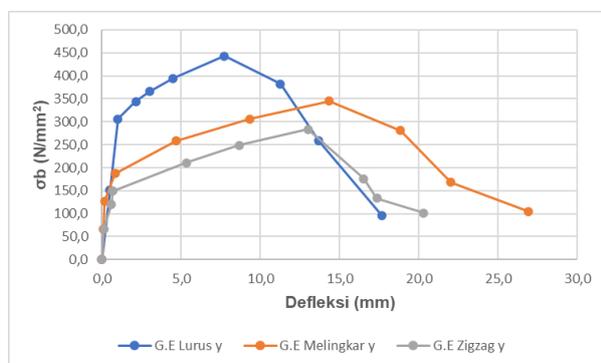
**Tabel 7.** Hasil perhitungan pengujian kekuatan bending rata-rata dengan metode pengelasan gerakan elektroda.

Spesimen	Rata-rata	
	$\sigma_b$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\delta$ (mm)
Lurus	443,469	17,659
Melingkar	412,423	26,621
Zigzag	326,979	20,2013

Tabel 6 menunjukkan hasil dari pengujian kekuatan bending rata-rata pada pengelasan gerak elektroda lurus yaitu, ( $\sigma_b$ )= 443,469 N/mm<sup>2</sup> dan defleksi ( $\delta$ ) sebesar 17,659 mm, kekuatan bending rata-rata pengelasan gerak elektroda melingkar ( $\sigma_b$ )= 412,423 N/mm<sup>2</sup> dan defleksi ( $\delta$ ) sebesar 26,621 mm, sedangkan untuk kekuatan bending rata-rata pengelasan gerak elektroda zigzag yaitu ( $\sigma_b$ )= 326,979 N/mm<sup>2</sup> dan defleksi ( $\delta$ ) sebesar 20,303 mm.

Tabel 6 hasil pengujian bending yang telah dilakukan, untuk kekuatan bending tertinggi terdapat pada gerakan elektroda lurus. Hal ini disebabkan perbedaan pergerakan elektroda pada saat melakukan proses pengelasan dapat mempengaruhi kekuatan bending.

Berdasarkan hasil pengamatan pada Tabel 6 dan perhitungan yang dilakukan didapatkan perbedaan besaran nilai pada masing-masing tipe pengelasan. Untuk mengetahui perbedaan tersebut, dapat dilihat pada Gambar 13.



**Gambar 13.** Kekuatan bending pada hasil pengelasan dengan menggunakan variasi gerakan elektroda

Berdasarkan Gambar 13 Grafik kekuatan bending pada hasil pengelasan dengan menggunakan variasi gerakan elektroda menunjukkan bahwa pergerakan elektroda dapat mempengaruhi hasil dari kekuatan bending lebih meningkat. Data yang didapat pada Tabel 7 menunjukkan bahwa terdapat perbedaan kekuatan bending pada variasi gerakan elektroda pada saat proses pengelasan, dimana gerakan elektroda lurus pada saat proses pengelasan dapat meningkatkan kekuatan bending, tetapi pada

saat pengelasan dengan menggunakan gerakan elektroda melingkar dan gerakan elektroda zigzag kekuatan bending mengalami penurunan kekuatan bending. Hal ini terjadi karena pada penetrasi filler tidak melebur secara sempurna.

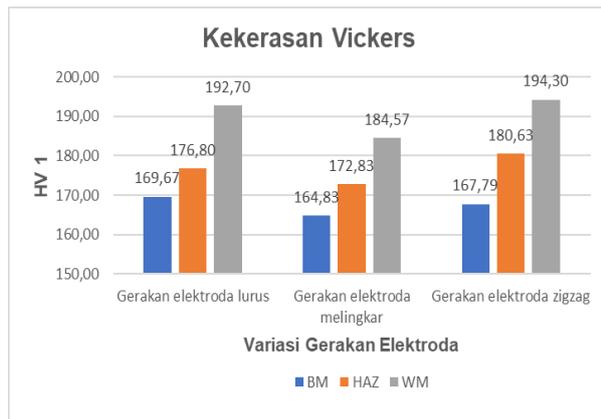
Faktor lain yang mempengaruhi nilai kekuatan bending pada sambungan hasil pengelasan yaitu pergerakan elektroda dan penetrasi logam pengisi pada saat proses pengelasan yang menyebabkan cacat yang terjadi. Salah satunya adalah cacat porositas yang biasa terjadi pada daerah antar muka lasan yang terjadi pada muka sambungan pengelasan. Pada hasil pengelasan yang kemudian dilakukan pengambilan gambar setelah dilakukan pengujian bending memperlihatkan visual yang cukup memberikan bukti bahwa telah terjadi cacat porositas pada area sambungan las tersebut. Porositas pada sambungan las ini banyak disebabkan oleh penetrasi logam penambah pada saat dilakukan proses pengelasan tidak terlalu baik sehingga porositas yang besar akan menurunkan kekuatan bending pada daerah lasan.

Tabel 6 dan Gambar 13 menunjukkan kekuatan bending rata-rata tertinggi yaitu pada pengelasan gerak elektroda lurus. Hal ini disebabkan karena pada pengelasan gerak elektroda zigzag aliran panas pada daerah HAZ lebih kecil sehingga menyebabkan spesimen menjadi ulet. Sedangkan kekuatan bending rata-rata terkecil yaitu pada pengelasan gerak elektroda zigzag. Hal ini disebabkan karena pada pengelasan gerakan elektroda zigzag aliran panas pada daerah HAZ lebih besar sehingga menyebabkan spesimen menjadi getas dan mudah patah.

## b. Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan *vickers* untuk spesimen diperiksa dengan kerucut berlian. Nilai rata-rata diambil dan ditunjukkan dalam angka. Beban uji yang digunakan pada pengujian kekerasan *vickers* sebesar 1 kgf. Standar pembebanan berlangsung selama 10-15 detik

Pengujian kekerasan ini dilakukan untuk mengetahui kekerasan dari hasil pengelasan. Hasil pengujian kekerasan dapat dilihat pada Gambar 14 menunjukkan hasil pengujian kekerasan berdasarkan spesimen uji.



**Gambar 14.** Grafik nilai kekerasan terhadap pola gerakan elektroda

Gambar 14 menunjukkan nilai kekerasan dari hasil pengelasan di daerah lasan (*Weld Metal*) cenderung meningkat, nilai kekerasan hasil pengelasan dengan gerakan elektroda zigzag menunjukkan nilai kekerasan tertinggi dibandingkan dengan gerakan elektroda lurus dan gerakan elektroda melingkar. Pada hasil sambungan pengelasan, nilai kekerasan maksimum pengujian kekerasan dilakukan di daerah yang terkena panas (HAZ). Nilai kekerasan hasil pengelasan dapat dikaitkan dengan beberapa faktor, terutama akibat tegangan sisa setelah pengelasan. Namun, faktor-faktor lain seperti ukuran butir, komposisi fase dan inklusi logam juga dapat berkontribusi pada kekerasan.

Pola gerakan elektroda terhadap kekerasan, pengelasan dengan menggunakan elektroda lurus dan gerakan elektroda melingkar menunjukkan hasil yang lebih getas dan keras dibandingkan dengan proses pengelasan dengan menggunakan pola gerakan elektroda melingkar yang menunjukkan hasil yang lebih lunak atau ulet, sedangkan untuk hasil yang lebih keras atau getas ditunjukkan pada proses pengelasan gerakan elektroda zigzag

Daerah logam induk yang terkena pengaruh panas pengelasan atau biasa disebut *Heat Affected Zone* (HAZ). Pada HAZ ini terjadi kecenderungan kekerasan yang tinggi dan keuletan yang rendah. Upaya untuk mengurangi kecenderungan ini dilakukan perlakuan panas yang disebut dengan pemanasan awal.

Gambar 14 menunjukkan bahwa pengujian kekerasan pada setiap spesimen, terlihat bahwa nilai kekerasan cenderung semakin bertambah besar ketika titik uji kekerasan *vickers* berada di daerah HAZ, dan sebaliknya semakin kecil jika mendekati daerah logam induk. Semakin rendah kecepatan pengelasan yang dilakukan, maka akan berakibat semakin melebarnya daerah HAZ pada setiap spesimen. Hal ini disebabkan oleh masukan panas (*heat input*) yang diterima masing-masing spesimen pada proses pengelasan sehingga energi masukan

panas (*heat input*) tersebut akan mengalir ke logam induk dan menyebarkan daerah HAZ semakin besar.

#### 4. Kesimpulan

Hasil pengujian pada spesimen uji dengan berbagai variasi gerakan elektroda berpengaruh terhadap kekuatan sambungan las, hasil kekuatan bending sambungan las tertinggi terjadi pada pengelasan gerakan elektroda lurus sebesar 443,469 N/mm<sup>2</sup>. Nilai kekerasan *vickers* HAZ rata-rata tertinggi terdapat pada pengelasan gerakan elektroda zigzag sebesar 180,63 HV1 sedangkan nilai kekerasan Vickers HAZ terendah terdapat pada pengelasan gerakan elektroda melingkar sebesar 172,83 HV1.

#### Referensi

- [1] T. O. Harsono Wiryosumarto, *Teknologi Proses Pengelasan*, 8th ed. Jakarta: PT Pradnya Paramita, 2000.
- [2] N. Subekti, "Optimalisasi Komposisi Kandungan Mn Pada Filler Untuk Mendapatkan Ketangguhan dan Kekerasan," *J. Tek. Ind.*, vol. 12, no. 1, pp. 41–50, 2011.
- [3] A. N. Qomari, P. T. Hutomo, J. Teknik, M. Fakultas, T. Universitas, and N. Malang, "Pengelasan Terhadap Kekerasan Hasil Las Pada Baja," *J. Tek. Mesin*, vol. TAHUN 23, no. 2, pp. 1–8, 2015.
- [4] A. Duniawan, "Pengaruh Gerak Elektroda dan Posisi Pengelasan Terhadap Uji Kekerasan Dari Hasil Las Baja SSC 41," *J. Teknol.*, no. Volume 8 Nomor 2, Desember 2015, pp. 128–134, 2015.
- [5] A. I. Andri Santoso, Awal Syahrani Sirajudin, Mustafa, "Analisis Kekuatan Tarik, Kekerasan Dan Struktur Mikro Pada Pengelasan SMAW Yang Menggunakan Elektroda E6013 Dengan Variasi Gerakan Elektroda," *J. Mek.*, vol. 9, no. 2, pp. 855–864, 2018.
- [6] Y. Gunawan *et al.*, "Analisa Kekuatan Mekanis Sambungan Las Menggunakan Pola Ayunan Melingkar dan Zigzag Pada Baja Carbon Sedang," in *Seminar Nasional Teknologi Terapan Inovasi dan Rekayasa (SNT2IR) 2019 Program Pendidikan Vokasi Universitas Halu Oleo*, 2019, pp. 6–11.
- [7] dan I. Afrianto Rabbi, "Analisa Pengaruh Gerakan Elektroda pada Pengelasan SMAW terhadap Uji Kekerasan dan Kekuatan Bending Baja ST 37," *Semin. Nas. Ind. dan Teknol. (SNIT), Politek. Negeri Bengkalis*, vol. Oktober 20, pp. 256–265, 2018.
- [8] M. H. Asiri, M. Husen, B. A. Badia, and M. Syafrun, "Studi kekuatan sambungan las terhadap material baja TRS 500 menggunakan variasi gerakan elektroda Study

of weld joint strength in TRS 500 steel material with a variety of electrode movement,” *J. Polimesin*, vol. 18, no. 2, pp. 82– 90, 2020.

- [9] AWS, *Structural Welding Code - Steel*, 17th ed., vol. 2000. WASHINGTON, D.C: American Welding Society, 1999.
- [10] ASTM Internasional, *Standard Test Methods for Bend Testing of Material for Ductility*. U.S: [www.astm.org](http://www.astm.org), 2014.
- [11] ASTM, *Microindentation Hardness of Materials*. 2005.