



Studi kekuatan sambungan las terhadap material baja TRS 500 menggunakan variasi gerakan elektroda

Muhammad Halim Asiri, Mardin Husen, Bahdin Ahad Badia, Muhammad Syafrun
Universitas Muslim Indonesia
Makassar, 90231, Indonesia
Email: muhammadhalimasiri@gmail.com

Abstrak

Salah satu proses terpenting dalam industri logam, permesinan, dan manufaktur yaitu proses penyambungan logam yang disebut proses pengelasan (*welding*). Pergerakan elektroda las dapat mempengaruhi kekuatan sambungan pada hasil pengelasan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui hasil kekuatan sambungan las jenis *single V-butt joint* dengan menggunakan gerakan elektroda lurus, gerakan elektroda melingkar, dan gerakan elektroda zigzag pada pelat baja TRS 500. Proses pengelasan dilakukan pada pelat baja tebal 6 mm menggunakan proses pengelasan SMAW dengan arus pengelasan 75-95 A, kawat elektroda E7016 dengan posisi 1G (*down hand*). Dimensi spesimen dan prosedur pengujian tarik berpedoman pada SNI 07-0371-1998 batang uji tarik untuk bahan logam yang mengacu pada JIS Z 2241. Dari pengujian hasil pengelasan dengan menggunakan variasi gerakan elektroda terdapat ada pengaruh terhadap kekuatan tarik dan kekerasan yang menunjukkan bahwa kekuatan tarik sambungan las tertinggi terjadi pada pengelasan gerakan elektroda lurus (tanpa ayunan) yang memiliki kekuatan tarik rata-rata tertinggi sebesar 728.17 MPa dan regangan sebesar 13.17%, sedangkan nilai pengujian tarik terendah pada pengelasan gerakan elektroda zigzag (pola ayunan Z) dengan nilai tegangan tarik rata-rata sebesar 672.83 MPa dan regangan sebesar 13.21%. Nilai kekerasan pada daerah pengaruh panas (HAZ), nilai kekerasan rockwell rata-rata tertinggi terdapat pada hasil pengelasan gerakan elektroda lurus sebesar 70.40 N/mm², sedangkan nilai kekekerasan terendah pada pengelasan gerakan elektroda melingkar dengan nilai kekerasan rata-rata sebesar 69.10 N/mm².

Kata kunci : Baja TRS 500, Las SMAW, kekuatan Tarik, Kekerasan, Gerakan Elektroda.

Study of weld joint strength in TRS 500 steel material with a variety of electrode movement

Abstrack

One of the most important processes in the metal, machinery, and manufacturing industries is the process of joining metals called welding processes. The movement of the welding electrode can affect the strength of the joint on the welding results. This study aims to determine the results of the strength of a single V-butt joint welding joint using straight electrode movement, circular electrode movement and zigzag electrode movement on TRS 500 steel plates. The welding process is carried out on 6 mm thick steel plates using the SMAW welding process with welding currents 75-95 A, E7016 electrode wire in 1G (down hand) position. Dimensions of specimens and procedural tensile testing procedures in SNI 07-0371-1998 tensile test rods for metal materials referred to JIS Z 2241. From testing the results of welding using electrode movement variations there is an influence on tensile strength and hardness which indicate that the tensile strength of joints the highest welding occurs in the straight electrode (without swing) welding which has the highest average tensile strength of 728.17 MPa and strain of 13.17%, while the lowest tensile testing value of zigzag electrode movement (swing pattern Z) with the average tensile stress value an average of 672.83 MPa and a strain of 13.21%. The value of hardness in the area of heat influence (HAZ), the highest average value of Rockwell hardness is found in the results of welding straight electrode movement of 70.40 N / mm², while the lowest hardness values in welding circular electrode movement with an average hardness value of 69.10 N / mm².

Keywords: Steel TRS 500, SMAW, Tensile Strength, Hardness, Electrode Movement

1. Pendahuluan

Pengelasan (*welding*) adalah salah satu teknik penyambungan logam dengan cara mencairkan sebagian logam induk dan logam pengisi, dengan atau tanpa logam penambah dan menghasilkan sambungan yang berkelanjutan. Lingkup

penggunaan teknik pengelasan dalam konstruksi sangat luas, meliputi perkapalan, jembatan, rangka baja, bejana tekan, pipa pesat, pipa saluran dan sebagainya. *Shield Metal Arc Welding* (SMAW) merupakan suatu teknik pengelasan dengan

menggunakan arus listrik yang membentuk busur arus dan elektroda berselaput. Metode SMAW banyak digunakan karena dapat menghasilkan sambungan yang kuat dan mudah untuk digunakan.[1]

Selain arus pengelasan, jenis elektroda juga sangat berpengaruh terhadap kekuatan sambungan hasil pengelasan terutama pada proses las SMAW. Fluks yang terdapat pada elektroda SMAW bertujuan untuk menghasilkan gas persentase yang berbeda-beda, untuk tiap jenis elektroda[2].

Tebal selaput elektroda berkisar antara 70% sampai 50% dari diameter elektroda tergantung dari jenis selaput. Pada waktu pengelasan, selaput elektroda ini akan turut mencair dan menghasilkan gas CO₂ yang melindungi cairan las, busur listrik dan sebagian benda kerja terhadap udara luar. Udara luar yang mengandung O₂ dan N akan dapat mempengaruhi sifat mekanik dari logam las. Cairan selaput yang disebut terak akan terapung dan membeku melapisi permukaan las yang masih panas. Setiap proses pengelasan pasti berhubungan dengan elektroda. Oleh karena itu, pemilihan jenis elektroda sangat penting sebelum melakukan proses pengelasan. Penggunaan jenis elektroda yang berbeda dan jenis standard pengujian tarik yang berbeda menghasilkan kekuatan tarik yang berbeda[2].

Wear resistant steel adalah baja dengan kekerasan tinggi (di atas 370 HB). TRS 500 adalah baja keras yang memiliki sifat kekerasan dan kekuatan luar biasa. TRS 500 tahan untuk aus yang menyebabkan abrasi pada permukaan baja. TRS 500 juga mampu mengurangi dampak keausan pada komponen struktural. TRS 500 dapat digunakan untuk produk ringan dengan bentuk elegan dan efisiensi energi yang tinggi digunakan. Dengan sifat sifat mampu bentuk yang baik dan mudah dilas membuat TRS 500 memiliki kemampuan kinerja yang tinggi.[3]

Gerakan ayunan elektroda diperlukan untuk mengatur lebar jalur las yang dikehendaki. Ayunan ke atas menghasilkan alur las yang kecil, sedangkan ayunan ke bawah menghasilkan jalur las yang lebar. Penembusan las pada ayunan ke atas lebih dangkal daripada ayunan ke bawah. Ayunan segitiga dipakai pada jenis elektroda Hydrogen rendah untuk mendapatkan penembusan las yang baik diantara dua celah pelat

Beberapa bentuk-bentuk ayunan gerakan elektroda di antaranya gerakan elektroda spiral, gerakan elektroda zigzag, gerakan elektroda segitiga dan gerakan elektroda lurus.

Tembusan las yang dihasilkan dengan gerakan ayunan tidak sebaik dengan gerakan lurus elektroda.

Waktu yang diperlukan untuk gerakan ayunan lebih lama sehingga dapat menimbulkan pemuaiian atau perubahan bentuk dari bahan dasar. Dengan alasan ini maka penggunaan gerakan ayunan harus memperhatikan tebal bahan dasar[4].

Pencairan logam saat pengelasan menyebabkan adanya perubahan fasa logam dari padat hingga mencair. Ketika logam cair mulai membeku akibat pendinginan cepat, akan terjadi perubahan struktur mikro dalam deposit logam dan logam dasar yang terkena pengaruh panas atau daerah pengaruh panas (*Heat Affected Zone/HAZ*). Daerah pengaruh panas adalah logam dasar yang bersebelahan atau kanan kiri dari logam las yang selama proses pengelasan mengalami siklus termal pemanasan dan pendinginan cepat sehingga daerah ini yang kritis dari sambungan las.[5]

Akibat dari pemanasan, pendinginan cepat dan berubahnya struktur mikro menyebabkan berubahnya sifat mekanis yang meliputi kekenyalan, kekuatan, kekerasan, ketelitian, kegetasan, dan ketahanan ausnya.

Faktor yang mempengaruhi hasil pengelasan adalah prosedur pengelasan yaitu cara pembuatan konstruksi las yang sesuai rencana dan spesifikasi dengan menentukan semua hal yang diperlukan dalam pelaksanaan tersebut. Proses produksi pengelasan yang dimaksud adalah proses pembuatan, alat dan bahan yang diperlukan, urutan pelaksanaan, persiapan pengelasan (meliputi: pemilihan mesin las, penunjukan juru las, pemilihan elektroda, penggunaan jenis kampuh)[4] dan gerakan elektroda atau ayunan pergerakan elektroda dapat mempengaruhi kualitas hasil pengelasan karena gerakan elektroda dilakukan untuk menghasilkan rigi-rigi las yang baik dan memperdalam penembusan terhadap logam induk pada saat pengelasan.[6]

Pergerakan elektroda pada saat melakukan proses pengelasan memberikan pengaruh terhadap nilai kekerasan pada daerah pengaruh panas (*Heat Affected Zone/HAZ*) yang mengakibatkan logam mengalami pelunakan[7][8][9].

Dalam proses pengelasan SMAW yang dilakukan[10][11] dengan menggunakan perbedaan gerakan elektroda lurus, gerakan elektroda zigzag dan gerakan elektroda melingkar, kekutan tarik tertinggi terdapat pada pengelasan dengan menggunakan gerakan elektroda melingkar.

Dalam studi tentang menganalisis kekuatan mekanis sambungan las menggunakan pola ayunan melingkar dan pola ayunan zigzag pada pelat baja, kekuatan tarik sambungan las tertinggi terjadi pada pengelasan pola ayunan zigzag dan tarik terendah pada pengelasan gerak elektroda melingkar.[12][13]

Pengelasan alur melingkar, alur zigzag dan lurus pada pengelasan SMAW Pelat Baja Mild Steel Grade A36 didapatkan data kekuatan tarik sambungan las tanpa ayunan (pengelasan lurus) sebesar 475,83 MPa. Sedangkan untuk sambungan las yang menggunakan pola ayunan zigzag sebesar 475,09 MPa, pola ayunan setengah lingkaran sebesar 471,48 MPa, dan pola ayunan melingkar sebesar 464,43 MPa.[14]

Dari Uraian diatas, pergerakan elektroda las dapat mempengaruhi kekuatan sambungan pada hasil pengelasan. Salah satu sifat mekanik yang paling penting dalam pengelasan adalah kekauan tarik (*tensile strength*) dan kekerasan (*hardness*). Tujuan bertujuan untuk mengetahui kekuatan sambungan pengelasan jenis *single V-butt joint* dengan gerakan elektroda lurus, gerakan elektroda melingkar dan gerakan elektroda zigzag pada pelat baja TRS 500.

2. Metode Penelitian

2.1 Waktu dan Tempat

Adapun waktu dan tempat pelaksanaan penelitian adalah proses pengelasan dilakukan di Workshop Las Politeknik ATIM, Makassar. Proses pembentukan spesimen uji kekuatan tarik dilakukan di Laboratorium Proses Produksi Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Muslim Indonesia, Makassar. Proses pengujian kekuatan tarik dilakukan di Laboratorium Metalurgi Fisik Universitas Hasanuddin, Gowa

2.2 Bahan Penelitian

Spesimen wear resistant steel yang dipilih untuk penelitian adalah produksi Jepang dengan kode FORA 500/RAEX 500 sebagai logam induk untuk proses pengelasan. Komposisi kimia dan sifat mekanik dari logam induk yang diperoleh dari pemasok ditunjukkan pada tabel 1 dan 2.

Tabel 1. Komposisi kimia dari TRS 500[3]

C	Cr	Ni	Mo	Mn	Si	S	P
0.30	1	0.8	0.5	1.7	0.70	0.015	0.025

Sumber:PT.Tira Austenite.Tbk[3]

Tabel 2. Sifat mekanik dari TRS 500[3]

UTS (Mpa)	As (%)	Hardness (HBN)
1600	8	450-540

Sumber:PT.Tira Austenite.Tbk[3]

Kawat elektroda las yang digunakan mengacu pada standar AWS A5.1 E7016 atau JIS Z3211 E4916 yang diproduksi oleh PT. Intan Pertiwi Industri dibawah izin dari Kobe Stell LTD dengan menggunakan elektroda kode LB-52U diameter 2.6mm dan LB-52 diameter 3.2mm. spesifikasi dari

logam pengisi yang diperoleh dari pemasok ditunjukkan pada tabel 3.

Tabel 3.Spesifikasi Kawat Elektroda Las Kawat[15]
Kobe Steel Welding Electrodes

Application dan Type	JIS :Z3211 E4916 AWS : A5.1 E7016
Type of Covering	Low Hydrogen
Use	High Strength Steel(50 Kg/mm ²) dan Mild Steel
Kekutan tarik	70000 Psi=482.73 MPa

Sumber: PT. Intan Pertiwi Industri[15]

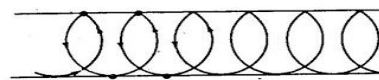
2.3 Proses Pengelasan SMAW

Dalam penyelidikan ini bahan yang digunakan yaitu pelat Wear Resistanat Steel TRS 500 dengan dimensi (200 × 200 × 6) mm untuk setiap variasi gerakan elektroda. Persiapan tepi dilakukan di mana tepi V tunggal disiapkan untuk sudut bevel 60. Dalam proses pengelasan ini celah akar 2 mm dipertahankan. Lembaran baja ditempatkan di atas meja. Sumber daya yang digunakan mesin las SMAW tipe LORCH seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.

Selama proses pengelasan arus yang digunakan diatur tetap (75-90) A. kawat elektroda yang digunakan memiliki panjang: 350 mm diameter: 2.6 mm untuk pengelasan akar (*root pass*) dan 3.2 mm untuk pengelasan pengisian dan permukaan (*fill pass dan capping pass*).



Gambar 1. Gerakan elektroda Lurus[16]

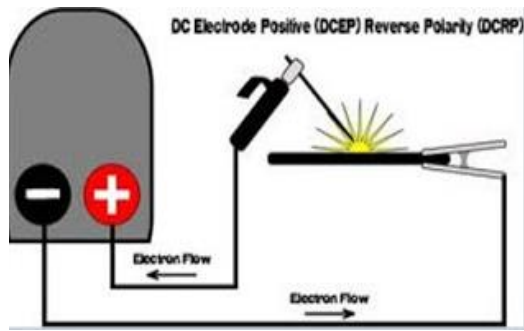


Gambar 2. Gerakan elektroda spiral[16]



Gambar 3. Gerakan elektroda zigzag[16]

Pengelasan menggunakan arus DCEP. *DCEP (Direct Current Elektroda Positif)* adalah benda kerja atau material dasar yang akan dilakukan pengelasan disambungkan dengan kutub negatif (-) dan elektrodanya disambungkan dengan kutub positif (+) dari mesin las DC.



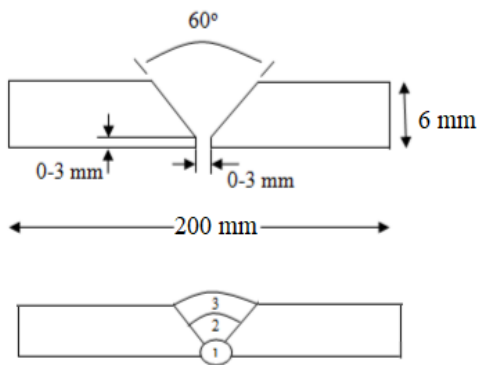
Gambar 4. Polaritas DCEP[17]

Tabel 4. Welding Procedure Specification(WPS)[18]

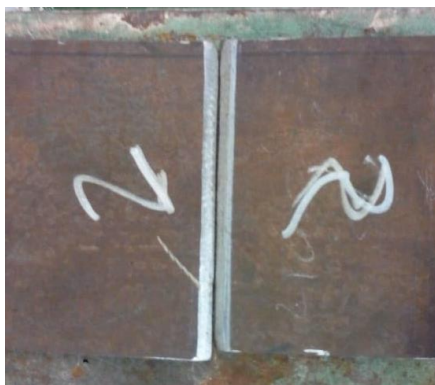
Layer	Amp	Type	Dia(mm)		
1	75	LB52U	7016	2.6	Root Pass
2	85	LB52	7016	3.2	Fill Pass
3	90	LB52	7016	3.2	Capping Pass

Sumber:AWS.D1.1.2000[18]

Persiapan sambungan las

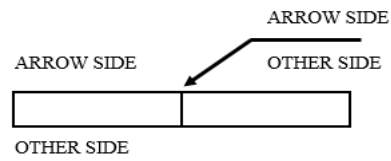


Gambar 5. Bentuk kampuh V[18]



Gambar 6. Butt joint(Jarak akar-2 mm, Sudut 30°)

Simbol pengelasan



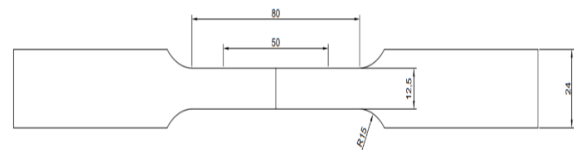
Gambar 7.Simbol pengelasan sambungan tumpul[4]



Gambar 8. Pelat TRS 500 Setelah pengelasan

2.4 Persiapan Sampel

Sampel untuk uji tarik dipotong dari pelat yang dilas diikuti dengan pemesian sesuai dengan standar SNI 07-0371-1998 yang mengacu pada standar JIS Z 2241 dan geometri spesimen uji seperti yang ditunjukkan pada gambar 9. Dan untuk dimensi spesimen uji tarik sesuai ketebalan pelat tercantum pada tabel dan ditunjukkan pada tabel 5.



Gambar 9.Standar Uji Tarik (JIS Z 2241)[19]

Tabel 5. Ukuran Standar JIS Z 2241

T (mm)	W (mm)	L ₀ (mm)	P (mm)
5.5<T≤7.5	12.5	50	80
7.5<T≤10		60	
10<T≤13	20	85	130
13<T≤19		100	
19<T≤27	40	170	265
27<T≤40		205	

Sumber : SNI 07-0371-1998[19]

Keterangan :

T (Tebal) Lo (Panjang ukur)
W (Lebar) P (Panjang Paralel)

2.5 Pengujian Kekuatan Tarik

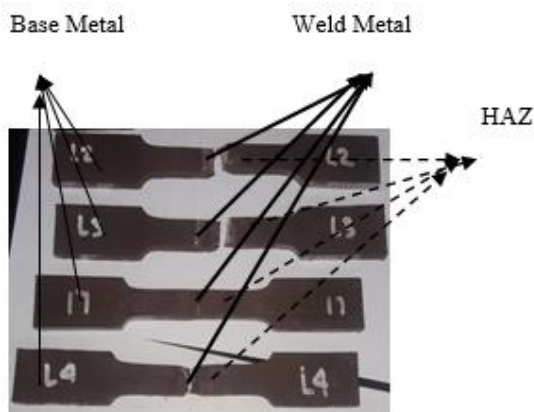
Pengujian tarik dilakukan menggunakan Mesin Uji Tarik 1000 KN EAST yang ditunjukkan pada gambar 7 dan spesimen uji tarik ditunjukkan pada gambar 10.



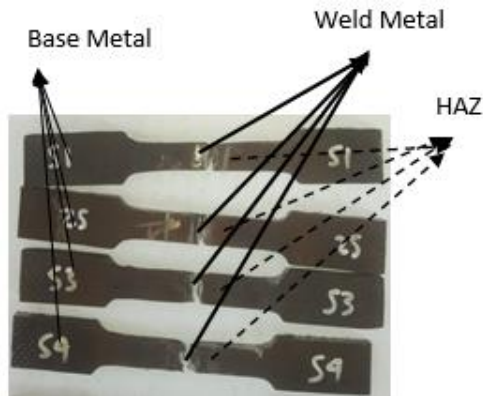
Gambar 10. Mesin Uji Tarik 1000 KN EAST



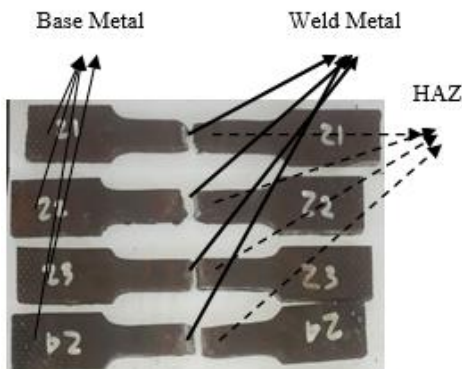
Gambar 11. Hasil uji tarik logam induk



Gambar 12. Hasil Uji tarik gerakan elektroda lurus



Gambar 13. Hasil Uji tarik gerakan elektroda spiral



Gambar 14. Hasil Uji tarik gerakan elektroda spiral

2.6 Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan pada sambungan las dilakukan menggunakan *Rockwell Testing Machine* 613N-HRC seperti ditunjukkan pada gambar 15. Spesimen sampel ditempatkan dengan permukaan pada landasan, dan perlahan-lahan memutar roda tangan hingga spesimen dinaikkan untuk menyentuh indenter. Angka-angka dibaca langsung dari indikator dial dan dikonversi ke nomor Rockwell.



Gambar 15. Hardness tester

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Pengujian Kekuatan tarik

Pengujian tarik dilakukan untuk mengetahui sifat mekanis dari material baja TRS 500 sebagai material uji (spesimen) pada penelitian ini. Hasil pengujian tarik pada umumnya adalah parameter kekuatan tarik (*ultimate strength*) dan luluh (*yield strength*), parameter keliatan atau keuletan yang ditunjukkan dengan adanya persentase perpanjangan (*elongation*) dan persentase kontraksi atau pengecilan penampang (*reduction of area*). Hasil yang diperoleh setelah dilakukan pengujian tarik menunjukkan bahwa daerah putus material uji tarik terjadi pada daerah weld metal seperti pada gambar 12, 13, dan 14. Hal ini disebabkan oleh kekuatan logam pengisi (*filler metal*) lebih rendah dibandingkan dengan logam induk (*parent metal*) sehingga panas yang masuk tidak cukup besar untuk melelehkan logam induk mengakibatkan logam induk dan bahan pengisi (elektroda) tidak homogen[23].

Adapun data hasil pengamatan pada pengujian tarik logam induk, pengelasan gerakan elektroda lurus, pengelasan gerakan elektroda melingkar, dan pengelasan gerak elektroda zigzag. Hasil uji tarik disajikan pada tabel 6 dan tabel 7.

Tabel 6. Hasil uji kekuatan tarik logam induk

Spesimen	UTS(Mpa)	ε(%)	E(Mpa)
Normal	1717,33	24,98	68,73

Tabel 7. Hasil uji kekuatan tarik hasil pengelasan

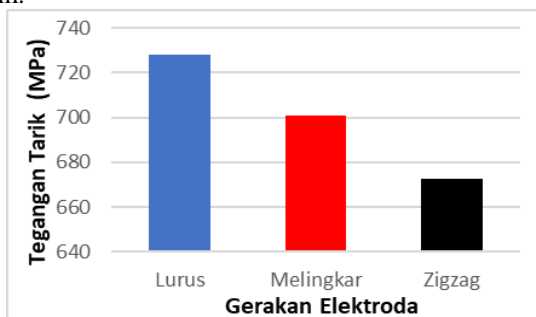
Spesimen	UTS(MPa)	ε(%)	E(MPa)
Lurus	630,66	8,70	72,47
	749,33	15,49	48,37
	753,33	12,89	58,44
	779,33	15,58	50,00
Melingkar	712,00	11,77	60,49
	543,33	8,45	64,23
	790,66	13,68	57,77
	756,66	14,66	51,61
Zigzag	716,66	18,42	38,90
	728,00	14,30	50,90
	564,00	9,31	60,52
	682,66	10,81	63,13

Dari hasil perhitungan kekuatan tarik rata-rata pengelasan gerak elektroda lurus, melingkar dan zigzag didapatkan nilai tegangan, regangan dan modulus elastis dapat dilihat pada tabel di bawah ini:

Tabel 8. Hasil perhitungan pengujian rata-rata tarik dengan metode pengelasan gerakan elektroda

Spesimen	UTS(MPa)	ε(%)	E(MPa)
Lurus	728,17	13,17	57,32
Melingkar	700,67	12,14	58,53
Zigzag	672,83	13,21	53,36

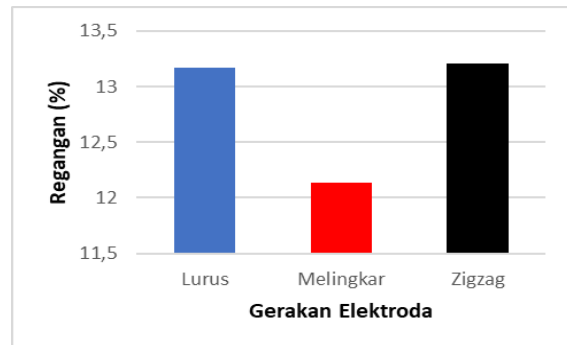
Berdasarkan hasil pengamatan dan perhitungan yang dilakukan didapatkan perbedaan besaran nilai tegangan tarik pada masing-masing tipe pengelasan. dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 16. Grafik tegangan tarik terhadap gerakan elektroda

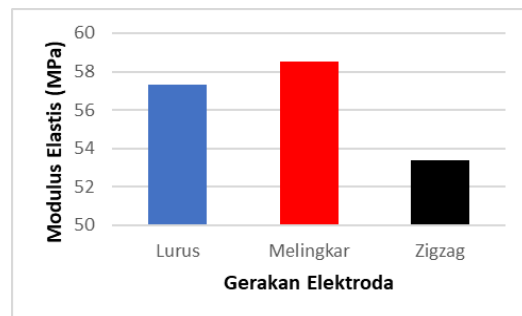
Berdasarkan gambar 16, dapat dilihat pada grafik bahwa tegangan tarik rata rata pada proses pengelasan dengan gerakan elektroda lurus mempunyai nilai regangan rata-rata sebesar 728.17 MPa, proses pengelasan dengan gerakan elektroda spiral mempunyai nilai tegangan rata-rata sebesar 700.67 MPa, sedangkan pada proses pengelasan dengan menggunakan elektroda zigzag mempunyai nilai tegangan rata-rata sebesar 672.83 MPa. Hal tersebut dibuktikan dalam penelitian[14], yang menyatakan bahwa proses pengelasan dengan

gerakan elektroda lurus mendapatkan nilai hasil kekuatan tarik tertinggi.



Gambar 17. Grafik regangan tarik terhadap pola gerakan elektroda.

Berdasarkan gambar 17, pada grafik di atas yang mendapatkan nilai regangan rata-rata tertinggi paling terdapat pada pengelasan SMAW dengan menggunakan gerakan elektroda zigzag dengan nilai regangan sebesar 13.21%, pengelasan dengan gerakan elektroda lurus mempunyai nilai regangan rata-rata sebesar 13.17%, sedangkan untuk nilai regangan rata-rata terendah terdapat pada pengelasan gerakan elektroda melingkar dengan nilai regangan rata-rata sebesar 12.14%. Pada proses pengelasan dengan menggunakan gerakan elektroda zigzag mengalami peningkatan, pada proses pengelasan dengan gerakan elektroda melingkar mengalami penurunan nilai regangan. Hal ini disebabkan oleh pengaruh proses pengelasan yang menimbulkan terjadinya siklus termal yang mengubah sifat dari material tersebut.[20]



Gambar 18. Grafik modulus elastis terhadap pola gerakan elektroda

Berdasarkan gambar 18, dapat dilihat bahwa modulus elastis rata – rata tertinggi terdapat pada pengelasan gerak elektroda melingkar dengan nilai rata-rata modulus elastisnya sebesar 58.53 MPa, pengelasan menggunakan gerakan elektroda lurus mempunyai nilai modulus elastis rata-rata sebesar 57.32 MPa, sedangkan untuk proses pengelasan gerakan elektroda zig-zag mempunyai nilai modulus elastis rata-rata sebesar 53.36 MPa. Hal ini membuktikan bahwa proses pengelasan dapat meningkatkan sifat elastisitas pada material meningkat.[10]

3.2 Pengujian kekerasan

Pengujian kekerasan ini dilakukan untuk mengetahui kekerasan dari material dengan satuan HRC (N/mm^2) pada permukaan spesimen uji. Hasil pengujian kekerasan disajikan pada tabel 9, tabel 10 dan gambar 19 menunjukkan hasil pengujian kekerasan berdasarkan spesimen uji.

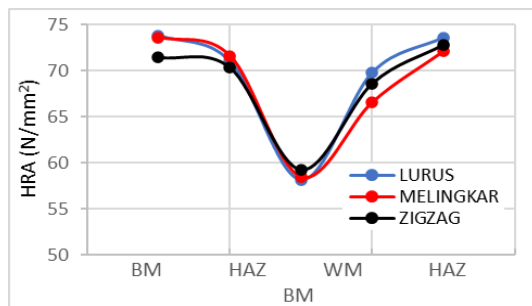
Tabel 9. Hasil uji nilai kekerasan logam induk

Kekerasan Rockwell (N/mm^2)				
Spesimen	1	2	3	Rrata
Logam Induk	74.6	74.0	74.3	74.3

Tabel 10. Hasil perhitungan nilai rata-rata kekerasan pada hasil pengelasan

Kekerasan Rockwell (N/mm^2)					
Spesimen	BM	HAZ	WM	HAZ	BM
Lurus	73,80	71,00	58,10	69,80	73,60
Melingkar	73,60	71,60	58,50	66,60	72,10
Zigzag	71,40	70,30	59,20	68,60	72,80

Nilai kekerasan rata-rata tertinggi terdapat pada spesimen hasil pengelasan dengan gerakan elektroda lurus yaitu $70.40 N/mm^2$, yang diikuti dengan gerakan elektroda zigzag yaitu $69.45 N/mm^2$, gerakan elektroda melingkar sebesar $69.10 N/mm^2$.



Gambar 19. Grafik nilai kekerasan terhadap pola Gerakan elektroda

Gambar 19, mengungkapkan bahwa profil kekerasan hasil pengelasan dengan Gerakan elektroda lurus menunjukkan nilai kekerasan tertinggi dibandingkan dengan Gerakan elektroda lainnya. Pada semua sambungan, nilai kekerasan maksimum diukur di area zona yang terkena panas (HAZ). Variasi dalam kekerasan hasil lasan 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 pengerasan ini[21]. Hal ini disebabkan oleh proses pengelasan yang menimbulkan panas dan mengakibatkan terjadinya siklus termal yang mengubah sifat dari materialnya. Nilai kekerasan tertinggi pada raw material adalah $74.30 N/mm^2$.

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 $1500^{\circ}C$ yang kemudian menjadi solid solution dan mengalami proses pembekuan/ solid. Struktur mikro yang biasanya terbentuk dicirikan dengan struktur yang berbutir panjang/columnar grains[22]. 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 $\pm 680^{\circ}C$, maka ferit akan terendapkan dari austenit kemudian pada saat temperatur $\pm 590^{\circ}C$ mulai pengendapan struktur perlit hingga suhu $\pm 520^{\circ}C$ kemudian akan terbentuk struktur ferit dan perlit[4].

3.3 Perubahan Sifat Logam Setelah Proses Las

Pada hasil pengelasan yang dilakukan pengujian tarik pada sambungan las menunjukkan bahwa semua spesimen atau sampel terjadi perpatahan (*fracture*) di logam las (*Weld metal/WM*), hal ini disebabkan logam induk memiliki sifat mekanis yang sangat tinggi dibandingkan dengan logam pengisi las (*filler las*)[23]. Meskipun baja berkekuatan tinggi mewakili kekuatan luluh hingga $1600 MPa$, tetapi struktur yang dilas menggunakan lapisan berkekuatan rendah. Elektroda terkuat yang tersedia secara komersial menyediakan kekuatan luluh sekitar $482.73 MPa$.

Ketika logam las mengalami penurunan kekuatan pada tingkat daripada bahan dasar, dengan menerapkan tegangan, logam las lunak mulai berubah bentuk sebelum logam induk. Pada titik itu deformasi zona lunak yang dihasilkan, termasuk logam las dan zona yang terpengaruh, dihambat oleh logam induk berkekuatan tinggi. Dengan demikian, stres uniaksial yang disebabkan oleh beban uniaksial dikonversi menjadi stres multiaxial. Konversi dalam tegangan ini menghasilkan peningkatan kekuatan statis pengelasan.[23]

Ketika logam mencair dan mulai membeku akibat pendinginan cepat, akan terjadi perubahan struktur mikro dalam deposit logam las dan logam dasar yang terkena pengaruh panas (*Heat affected zone/HAZ*). Struktur mikro dalam logam lasan biasanya berbentuk columnar, sedangkan pada daerah HAZ terdapat perubahan yang sangat bervariasi. Perubahan ini mengakibatkan perubahan pula sifat-sifat logam dari sebelumnya. Struktur mikro pearlite memiliki sifat ulet dan tidak keras, sebaliknya martensite mempunyai sifat keras dan getas. Distribusi temperatur pada logam dasar yang sangat bervariasi telah menyebabkan berbagai macam perlakuan panas terhadap daerah HAZ

logam tersebut. Logam lasan mengalami pemanasan hingga temperatur 1500°C dan daerah HAZ bervariasi mulai 200°C hingga 1100°C. Temperatur 1500°C pada logam lasan menyebabkan pencairan dan ketika membeku membentuk struktur mikro columnar. Temperatur 200°C hingga 1100°C menyebabkan perubahan struktur mikro pada logam dasar baik ukuran maupun bentuknya[20]

4. Kesimpulan

Dari hasil pengujian yang telah dilakukan pada spesimen uji dengan bervariasi jenis gerakan elektroda maka dapat disimpulkan bahwa jenis gerakan elektroda berpengaruh terhadap kekuatan sambungan las, kekuatan tarik sambungan las tertinggi terjadi pada pengelasan gerakan elektroda lurus (tanpa ayunan) yang memiliki kekuatan tarik rata-rata tertinggi sebesar 728.17 MPa dan regangan sebesar 13.17%, sedangkan nilai pengujian tarik terendah pada pengelasan gerakan elektroda zigzag (pola ayunan Z) dengan nilai tegangan tarik rata-rata sebesar 672.83 MPa dan regangan sebesar 13.21%.

Sedangkan nilai Nilai kekerasan pada daerah pengaruh panas (HAZ), nilai kekerasan *rockwell* rata-rata tertinggi terdapat pada hasil pengelasan gerakan elektroda lurus sebesar 70.40 N/mm², sedangkan nilai kekekerasan terendah pada pengelasan gerakan elektroda melingkar dengan nilai kekerasan rata-rata sebesar 69.10 N/mm²

Daftar Pustaka

- [1] I. S. Asibeluo and E. Emifoniye, "Effect of Arc Welding Current on the Mechanical Properties of A36 Carbon Steel Weld Joints," *SSRG Int. J. Mech. Eng.*, vol. 2, no. 9, pp. 79–87, 2015.
- [2] A. Muhazir, "Pengaruh Jenis Elektroda Pengelasan SMAW Terhadap Sifat Mekanik Material SS400," *J. Polimesin*, vol. 17, no. 1, pp. 19–24, 2019.
- [3] PT. Tira Austenite, *Tira Resistant Steel 500 Wear Resistant Plate With Hardness to 540 BHN*. Jakarta: PT. Tira Austenite, 2020.
- [4] T. O. Harsono Wiryosumarto, *Teknologi Proses Pengelasan*, 8th ed. Jakarta: PT Pradnya Paramita, 2000.
- [5] I. S. Fauzan Habibi, Sri Mulyo Bondan Respati, "Perlakuan Pemanasan Awal Elektroda Terhadap Sifat Mekanik Dan Fisik Pada Daerah HAZ Hasil Pengelasan Baja Karbon ST 41," *Pros. SNST ke-6 Tahun 2015*, vol. ke-6 Tahun, pp. 207–215, 2015.
- [6] D. F. B. Pranawan, "Pengaruh Teknik Pengelasan Alur Spiral, Alur Zig-Zag, dan Lurus Pada Arus 85A Terhadap Kekuatan Tarik Baja ST 41," *JTM*, vol. 4, no. 2, pp. 29–32, 2016.
- [7] A. I. A. S. A. S. S. 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.
- [8] 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.
- [9] I. Nitya Santhiarsa and I. Budiarsa, "Pengaruh Posisi Pengelasan dan Gerakan Elektroda Terhadap Kekerasan Hasil Las Baja JIS SSC 41," *J. Energi Dan Manufaktur*, vol. 3, no. 2, 2008.
- [10] A. Santoso and A. Syahrani, "Analysis of Tensile Strength, Hardness and Microstructure on SMAW Welding Using E 6013 Electrodes with Variation in Electrodes Movement," *Pros. SNTTM XVII*, pp. 179–183, 2018.
- [11] N. A. Triwibowo and E. Supriatna, "Effects of Electrode Movement on Smaw Welding to The Quality of ST-37 Steel Welds," *Conf. Senat. STT Adisutjipto Yogyakarta*, vol. 5, pp. 59–66, 2019, doi: 10.28989/senatik.v5i0.368.
- [12] I. P. M. Heri, Akbar, Untung Budiarto, "Pengaruh Variasi Gerakan Elektroda dan Bentuk Kampuh Las Terhadap Kekuatan Tarik dan Impak Pada Hasil Las SMAW Baja SS400 Sebagai Material Lambung Kapal," *J. Tek. Perkapalan*, vol. 7, no. 4, p. 2019, 2019.
- [13] Y. Gunawan, R. Balaka, R. R. Sisworo, L. Hasanuddin, and A. Syahdan, "Analisa Kekuatan Mekanis Sambungan Las Menggunakan Pola Ayunan Melingkar dan Zigzag Pada Baja Karbon Sedang," *PROSIDINGN 2019*, pp. 6–11, 2019.
- [14] dan D. H. N. Y. N. Sabut Alamsyah, "Kajian Teknis Kuat Tarik Sambungan Las SMAW Pelat Baja Mild Steel Grade A36 Untuk Konstruksi Kapal Dengan Macam-Macam Pola," *Saintek*, vol. 8, no. 1, p. 2011, 2011.
- [15] P. I. P. Industri, "Kobe Steel Welding Electrodes(Familiarc)," Indonesia.
- [16] Sukaini, *Teknik Las SMAW 2*. Malang, Indonesia: Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan Republik Indonesia, 2013.
- [17] A. Syahdan, "Analisa Kekuatan Mekanis Sambungan Las Menggunakan Pola Ayunan Melingkar Dan Zig Zag Pada Baja Carbon Sedang," Skripsi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Halu Oleo, 2019.
- [18] AWS, *Structural Welding Code - Steel.*, 17th ed., vol. 2000. WASHINGTON, D.C: American Welding Society, 1999.
- [19] B. S. Nasional (SNI), *Batang Uji Tarik Untuk Bahan Logam*. Jakarta, 1998.
- [20] Riswan Dwi Djamiko, *Teori Pengelasan Logam*. Yogyakarta: Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Yogyakarta, 2008.
- [21] S. Chandran, N. M. Nagarajan, and K. College, "Comparative Studies on Joining of Structural Steels Using MIG and Arc Welding," *IJRSR*,

- vol. 7, pp. 12405–12410, 2016.
- [22] S. S. Serope Kalpakjian, *Manufacturing Engineering and Tecknologi*, 7th ed. Singapore: Person Education Soputh Asia Pte Ltd, 2014.
- [23] S. Akbarnejad, “Investigation on static strength of welded joints,” Master Thesis Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden, 2012.