

# PENGARUH SEQUENSI PENGELASAN TERHADAP DEFLEKSI DAN SIFAT MEKANIK PADA PENGELASAN *SHIELD METAL ARC WELDING* (SMAW) PIPA BAJA KARBON

Dinia Syangka<sup>1</sup>, Hamdani<sup>2\*</sup>, Saifuddin<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Mahasiswa Program Studi Teknologi Rekayasa Manufaktur  
Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Lhokseumawe

<sup>2</sup>Dosen Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Lhokseumawe  
Jl. Medan – Banda Aceh Km. 280 Buketrata

\*Penulis Koresponden: hamdani\_jtm@pnl.ac.id

## Abstrak

Pengelasan merupakan salah satu proses penting dalam industri manufaktur, khususnya pada penyambungan pipa baja karbon yang digunakan dalam sistem perpipaan bertekanan. Salah satu masalah yang kerap muncul dalam proses pengelasan adalah defleksi (distorsi bentuk) dan penurunan sifat mekanik akibat distribusi panas yang tidak merata. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh variasi sequensi pengelasan terhadap defleksi dan sifat mekanik pada pipa baja karbon yang dilas menggunakan metode Shielded Metal Arc Welding (SMAW) dengan elektroda E6013. Penelitian ini bertujuan untuk melaksanakan proses pengelasan pipa dengan variasi sequensi, mengukur defleksi hasil pengelasan, dan menguji sifat mekanik berupa kekuatan tarik dan regangan. Metode yang digunakan adalah eksperimen laboratorium, di mana proses pengelasan dilakukan dengan tiga variasi urutan (sequensi), dan hasilnya dianalisis menggunakan dial indikator untuk defleksi serta mesin uji tarik untuk sifat mekanik. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sequensi pengelasan memengaruhi besar defleksi dan nilai kekuatan tarik. Sequensi 1 menghasilkan defleksi paling kecil dan kekuatan tarik tertinggi sebesar 40,91 kgf/mm<sup>2</sup>, sementara nilai regangan mengalami penurunan seiring bertambahnya intensitas sequensi. Hal ini membuktikan bahwa pengaturan urutan pengelasan yang tepat dapat meminimalkan distorsi dan menjaga kekuatan sambungan las.

**Kata kunci:** pengelasan SMAW, sequensi pengelasan, defleksi pipa, kekuatan tarik, pipa baja karbon.

## 1. Pendahuluan

### 1.1 Latar Belakang

Dalam industri modern, mulai dari manufaktur hingga energi, pengelasan adalah proses fundamental untuk menyatukan logam secara permanen [1]. Proses ini krusial karena hampir semua sektor, termasuk otomotif, konstruksi jembatan, dan infrastruktur pipa, bergantung padanya [2]. Pipa, khususnya, memegang peran strategis sebagai media transportasi fluida seperti air, minyak, dan gas, sehingga sambungan lasnya harus sangat andal dan memenuhi standar teknis yang ketat [3].

Meskipun ada berbagai metode, *Shielded Metal Arc Welding* (SMAW) menjadi pilihan populer untuk pengelasan pipa karena kemudahannya dan biaya yang relatif rendah. Namun, metode ini memiliki tantangan utama, yaitu defleksi atau distorsi [4]. Distorsi ini terjadi akibat perubahan suhu yang tidak merata selama proses pemanasan dan pendinginan, menyebabkan tegangan internal yang merusak bentuk struktural [5]. Jika tidak dikendalikan,

defleksi dapat menyebabkan masalah serius seperti penyimpangan dimensi, kesulitan perakitan, dan bahkan kegagalan sistem perpipaan.

Untuk mengatasi masalah kritis ini, salah satu solusi teknis yang paling efektif adalah pengendalian urutan pengelasan (*welding sequencing*) [6]. Dengan mengatur urutan atau pola pengelasan, panas dapat didistribusikan secara lebih merata ke seluruh struktur. Teknik-teknik seperti *symmetrical welding* (pengelasan simetris) atau *back-step welding* (pengelasan mundur) terbukti sangat efektif dalam meminimalkan tegangan termal, sehingga mengurangi risiko defleksi dan distorsi.

Penerapan *sequencing* yang tepat tidak hanya berfungsi untuk mengontrol distorsi, tetapi juga sangat memengaruhi sifat mekanik sambungan las. Distribusi panas yang terkendali memastikan terbentuknya *Heat-Affected Zone* (HAZ) yang ideal, area transisi antara logam

dasar dan logam las. Ini penting untuk mencegah pendinginan cepat yang tidak merata, yang dapat membuat struktur mikro menjadi rapuh dan rentan retak [6].

Selain itu, pemilihan urutan pengelasan yang optimal harus sejalan dengan standar industri internasional seperti ASME B31.3 dan API 1104 [7]. Penyesuaian terhadap standar ini sangat penting agar produk atau instalasi dapat lolos uji kelayakan dan menjamin keselamatan pengguna [8]. Penyesuaian dengan pedoman ini sangat penting untuk memastikan produk aman, andal, dan lolos uji kelayakan. Seiring meningkatnya kebutuhan akan pipa bertekanan tinggi dan jaringan distribusi yang kompleks [9], studi tentang *sequencing* pengelasan menjadi semakin mendesak. Setiap kegagalan akibat distorsi atau sambungan las yang lemah dapat mengakibatkan kerugian finansial, terhentinya produksi, dan risiko kebocoran yang membahayakan lingkungan dan keselamatan kerja [10].

Penelitian ini bermanfaat untuk meningkatkan efisiensi produksi dan mengurangi biaya perbaikan distorsi, sekaligus meningkatkan keandalan sambungan las jangka panjang. Secara akademis, studi ini memperkaya literatur teknik pengelasan dan dapat membantu para insinyur merancang sistem perpipaan yang lebih tahan lama. Dengan demikian, penelitian ini penting baik bagi praktik industri maupun pengembangan ilmu pengetahuan, khususnya di bidang metalurgi dan manufaktur, karena fokus pada pengendalian panas dan distorsi.

## 2. Metode Penelitian

### 2.1 Bahan

Adapun bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah Baja karbon, diameter 3 inci ( $\pm 76$  mm), panjang setelah dilas 300 mm, tebal 3,2 mm dan elektroda E6013,  $\emptyset$  3,2 mm, panjang 350 mm, lapisan rutile. Untuk mengetahui karakteristik material yang digunakan, dilakukan identifikasi komposisi kimia dan sifat mekanik dari pipa baja karbon serta elektroda E6013. Data ini penting untuk memahami pengaruh proses pengelasan terhadap perubahan sifat fisik dan mekanik material. Berikut adalah komposisi kimia dan sifat mekanik bahan yang digunakan, yang disajikan pada tabel 1.

Tabel 1. Komposisi Kimia Meterial

Unsur	Pipa Baja Karbon (%)	Elektroda E6013 (%)
C	0,2	0,12
Mn	0,75	0,4

Unsur	Pipa Baja Karbon (%)	Elektroda E6013 (%)
Si	0,3	0,35
S	0,03	0,03
P	0,03	0,03
Fe	Bal.	Bal.

Memahami sifat mekanik material sangatlah penting untuk menentukan kelayakan suatu material dalam aplikasi tertentu, seperti pengelasan dan pembebanan struktural. Misalnya, material yang memiliki kekuatan tarik tinggi dan elongasi yang memadai dianggap ideal untuk komponen yang sering mengalami beban dinamis atau kejutan. Informasi lengkap terkait nilai-nilai tersebut dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Sifat Mekanik Material

Material	Yield Strength (MPa)	Tensile Strength (MPa)	Elongation (%)
Pipa Baja Karbon	$\pm 250$	$\pm 410$	$\pm 25$
Elektroda E6013	$\pm 400$	$\pm 490$	$\pm 22$

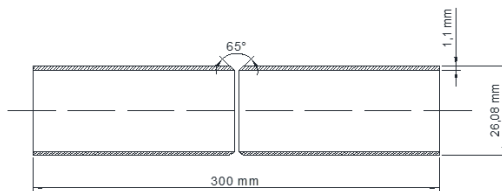
### 2.2 Desain Kampuh Las

Desain kampuh las berperan penting dalam menentukan kualitas sambungan dan efisiensi proses pengelasan, terutama pada sambungan pipa dengan metode Shielded Metal Arc Welding (SMAW). Dalam penelitian ini digunakan kampuh V (V-groove) untuk menyambung dua pipa baja karbon. Pemilihan kampuh V bertujuan untuk memberikan ruang cukup bagi penetrasi las, mempermudah kontrol pengelasan pada posisi 5G, dan menghasilkan sambungan yang kuat dan merata. Desain kampuh ini disesuaikan dengan ketebalan pipa 3,2 mm dan panjang pipa setelah dilas 300 mm. Spesifikasinya ditampilkan pada Tabel 3. serta Gambar 1. sampai dengan Gambar 4. sebagai berikut:

Tabel 3. Desain Kampuh Las V (V-Groove) pada sambungan pipa

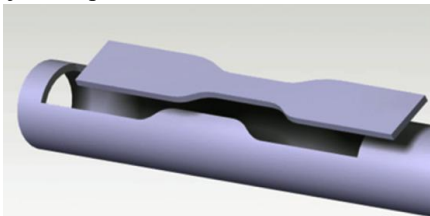
Parameter	Nilai/Keterangan
Jenis Kampuh	Kampuh V (V-Groove)
Sudut Kampuh	60°
Root Face	1,5 mm
Root Gap	2 mm
Ketebalan Dinding	3,2 mm

Parameter	Nilai/Keterangan
Pipa	
Diameter Pipa	3 inci (sekitar 76 mm)
Panjang Sambungan	300 mm (setelah dilas)
Sebelum di las	Panjang 150 kanan dan 150 kiri
Posisi Pengelasan	5G
Metode Pengelasan	SMAW



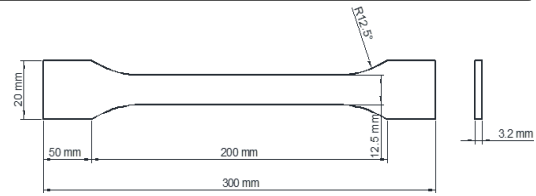
Gambar 1. Desain Pengelasan

Sebelum dilakukan pengujian defleksi dan sifat mekanik, material hasil pengelasan perlu dipotong dan disiapkan menjadi spesimen uji. Proses pengambilan spesimen dilakukan dengan mengikuti standar yang telah ditetapkan agar hasil uji dapat merepresentasikan kondisi sebenarnya dari sambungan las. Spesimen diambil dari bagian tengah pipa yang telah dilas, dengan mempertimbangkan posisi garis netral serta zona pengaruh panas (HAZ). Ilustrasi tata letak dan proses pengambilan spesimen ditunjukkan pada Gambar 2. berikut ini.



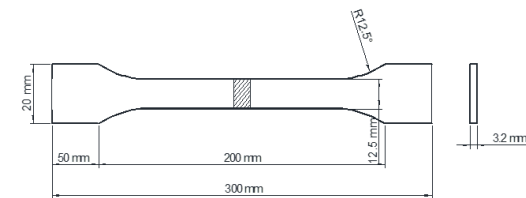
Gambar 2. Pengambilan Spesimen Uji

Dalam penelitian ini, pengujian sifat mekanik menggunakan standar ASTM E08, yaitu standar internasional untuk pengujian tarik material logam. Spesimen hasil pengelasan kemudian dipotong dan dibentuk sesuai dimensi yang ditentukan dalam standar tersebut. Bentuk spesimen setelah dilakukan proses pengelasan dan sebelum pengujian ditampilkan pada Gambar 3. berikut ini.



Gambar 3. Spesimen ASTM E08

Sebelum dilakukan proses pengelasan, spesimen terlebih dahulu dipersiapkan sesuai dengan standar yang berlaku. Dalam penelitian ini, spesimen disiapkan mengacu pada standar ASME Section IX, yang merupakan pedoman umum dalam pengujian prosedur pengelasan dan kualifikasi welder. Persiapan spesimen meliputi pemotongan, pembersihan permukaan, dan pembentukan kampuh dengan ukuran dan sudut tertentu. Kondisi spesimen sebelum dilakukan proses pengelasan ditunjukkan pada Gambar 4. berikut.



Gambar 4. Spesimen ASME SCC IX

### 2.3 Pengujian Spesimen

Setelah pipa baja karbon dilakukan pengelasan dilakukanlah pengukuran defleksi. Dalam konteks pengelasan dan struktur logam, pengukuran defleksi penting untuk mengetahui tingkat deformasi material setelah proses las atau setelah diberi beban tertentu. Pengukuran defleksi dilakukan menggunakan dial indikator setelah proses pengelasan pipa baja karbon selesai. Alat ini digunakan untuk mengukur seberapa besar perubahan bentuk (defleksi) yang terjadi pada pipa akibat panas dan tegangan dari pengelasan. Nilai defleksi dihitung dengan cara mengikat benda uji pada chuck mesin bubut kemudian dibagi menjadi 4 sudut yaitu sudut  $0^\circ$ ,  $90^\circ$ ,  $270^\circ$  dan  $360^\circ$ , sebagaimana terlihat pada gambar 5.



Gambar 5. Pengukuran Defleksi

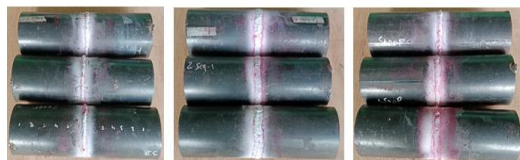
Lalu hitunglah rata-rata dari hasil pengukuran dengan cara menjumlahkan semua hasil pengukuran defleksi, lalu membagi total tersebut dengan jumlah data pengukuran yang ada. Misalnya Rata-rata =  $(0.5 + 0.6 + 0.7 + 1) / 4 = 2.8 / 4 = 0.7$ .

Setelah itu pipa baja karbon dipotong sesuai spesimen pengujian tarik yaitu ASTM E08. Dibutuhkan 12 Spesimen untuk pengujian tarik. Dimensi spesimen adalah 2cm x 30cm x 3,2cm

### 3. Hasil dan Pembahasan

#### 3.1 Hasil Bentuk Spesimen

Berikut merupakan wujud spesimen pengelasan yang telah dibuat dengan proses SMAW dengan 3 variasi squensi, Kemudian spesimen pengelasan akan dilakukan pengujian tarik. Spesimen uji Tarik dengan kode T. Gambar 6. dan 7. menunjukkan hasil bentuk spesimen.



Squensi 1      Squensi 2      Squensi 3

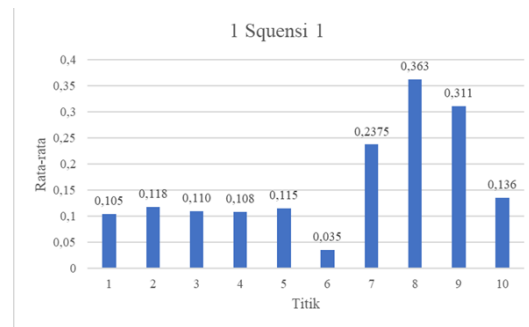
Gambar 6. Spesimen Hasil Pengelasan SMAW 3 variasi Squensi



Gambar 7. Spesimen Uji Tarik

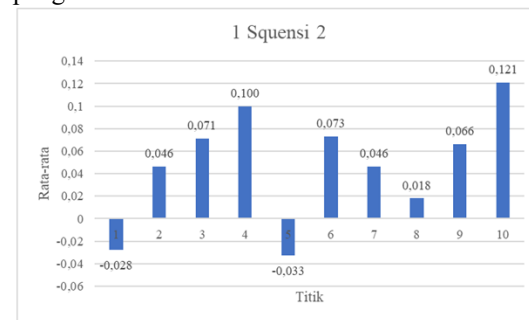
#### 3.2 Pengukuran Defleksi

Berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan pada tanggal 16 juli 2025 di Laboratorium Produksi Teknik Mesin Politeknik Negeri Lhokseumawen, maka didapatkan hasil sebagaimana terlampir pada gambar 8., 9., 10., 11., 12., 13, 14, 15 dan 16 sebagai berikut:



Gambar 8. Grafik 1 Squensi 1

Gambar 8. menampilkan data defleksi rata-rata pada pipa baja karbon yang dilas menggunakan metode SMAW dengan elektroda E6013. Pengukuran defleksi diambil pada sudut 0°, 90°, 270°, dan 360°, dengan hasil berturut-turut: 0,208; 0,171; 0,050; dan 0,230. Hasil ini menunjukkan bahwa defleksi menurun hingga mencapai titik terendah pada sudut 270°, yang mengindikasikan distribusi panas yang lebih merata di area tersebut, kemungkinan karena posisi pengelasan yang lebih stabil. Sebaliknya, defleksi tertinggi terjadi pada 360°, yang disebabkan oleh akumulasi panas di titik akhir pengelasan.

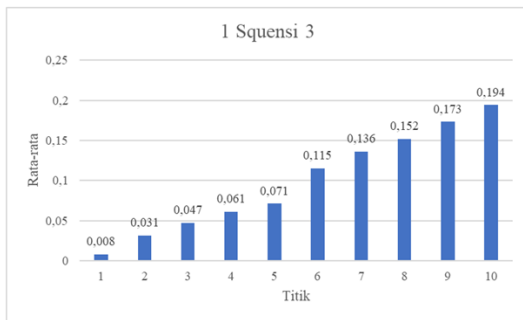


Gambar 9. Grafik Squensi 2

Gambar 9. merangkum hasil pengukuran defleksi pada pipa baja karbon yang dilas menggunakan metode SMAW dengan elektroda E6013, berdasarkan data yang disajikan pada grafik. Hasil pengukuran di empat titik sudut (0°, 90°, 270°, dan 360°) menunjukkan fluktuasi yang signifikan. Defleksi negatif yang terjadi pada sudut 90° menunjukkan adanya pembengkokan ke arah berlawanan akibat

penyusutan yang tidak merata, kemungkinan besar karena posisi pengelasan yang sulit dikendalikan.

Sebaliknya, peningkatan tajam pada sudut 270° mengindikasikan akumulasi panas berlebih yang menyebabkan ekspansi termal besar, terutama karena posisi ini berada di bagian bawah pipa di mana panas cenderung tertahan. Penurunan defleksi pada sudut 360° menunjukkan proses akhir pengelasan, di mana pembekuan logam dan sisa tegangan masih memengaruhi bentuk. Secara keseluruhan, variasi defleksi ini menegaskan bahwa faktor-faktor seperti posisi pengelasan, distribusi panas, dan tingkat keahlian operator sangat menentukan kualitas akhir dari hasil pengelasan, meskipun menggunakan elektroda yang umum seperti E6013.

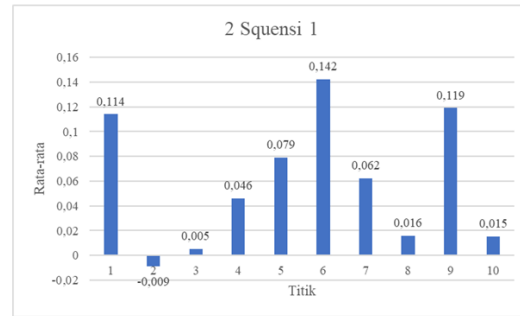


Gambar 10. Grafik 1 Squensi 3

Berdasarkan gambar 10. menunjukkan hasil pengukuran defleksi rata-rata pada pipa baja karbon yang dilas menggunakan metode SMAW dengan elektroda E6013. Pengukuran di empat sudut (0°, 90°, 270°, dan 360°) menunjukkan hasil sebagai berikut: Pada sudut 0°, 90°, dan 270°, defleksi yang tercatat kecil dan bernilai negatif (-0,043; -0,047; dan -0,053). Angka negatif ini mengindikasikan adanya penyusutan akibat kompresi internal, yang menunjukkan bahwa distribusi panas di awal dan pertengahan proses pengelasan cukup seimbang.

Namun, pada sudut 360°, terjadi defleksi tajam yang menunjukkan adanya pelepasan energi besar akibat akumulasi sisa tegangan di titik akhir pengelasan. Peningkatan ini disebabkan oleh panas berlebih pada area yang tumpang tindih, memicu ekspansi termal yang signifikan dan menyebabkan pembengkakan. Meskipun elektroda E6013 dikenal stabil, hasil akhir pengelasan tetap sangat bergantung pada pengaturan arus dan konsistensi

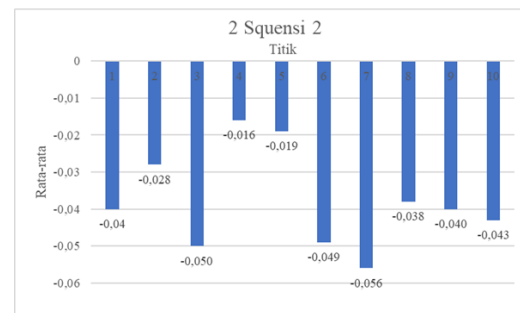
teknik operator. Tanpa kontrol yang tepat, bagian akhir lasan bisa menjadi titik kritis yang menyebabkan defleksi berlebih.



Gambar 11. Grafik 2 Squensi 1

Berdasarkan data dari gambar 11. terlihat adanya variasi defleksi rata-rata pada pipa baja karbon yang dilas menggunakan metode SMAW. Pengukuran yang dilakukan pada empat titik sudut berbeda (0°, 90°, 270°, dan 360°) menunjukkan nilai yang bervariasi. Pada sudut 0°, defleksi tercatat 0,041, yang kemudian menurun menjadi nilai negatif (-0,048) di sudut 90°. Penurunan ini kemungkinan disebabkan oleh penyusutan atau tarikan ke dalam akibat kontrol panas yang kurang stabil saat pengelasan pada posisi horizontal. Sebaliknya, terjadi lonjakan defleksi yang sangat tinggi pada sudut 270° (0,254), yang mengindikasikan akumulasi panas berlebih di bagian bawah pipa, menyebabkan ekspansi termal yang besar. Defleksi kemudian kembali menurun drastis di sudut 360° menjadi 0,017.

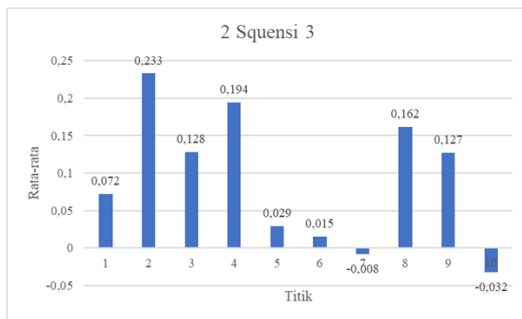
Secara keseluruhan, fluktuasi ini secara jelas menunjukkan dampak signifikan dari distribusi panas yang tidak merata selama proses pengelasan terhadap defleksi, yang sangat penting untuk diperhatikan dalam menjaga integritas struktural pipa.



Gambar 12. Grafik 2 Squensi 2

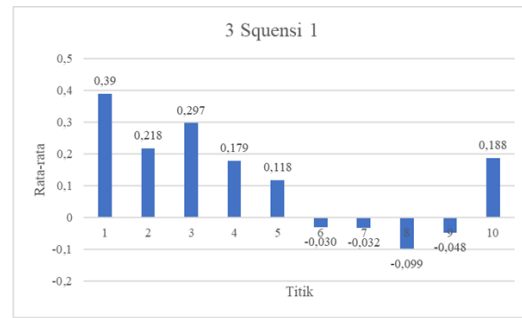
Grafik pada gambar 12. menunjukkan hasil pengelasan pipa baja karbon dengan elektroda E6013 yang seluruhnya menghasilkan defleksi bernilai negatif pada setiap titik pengukuran ( $0^\circ$ ,  $90^\circ$ ,  $270^\circ$ , dan  $360^\circ$ ). Nilai-nilai ini, yaitu -0,029; -0,040; -0,047; dan -0,035, mengindikasikan bahwa seluruh keliling pipa mengalami penyusutan atau kompresi ke arah dalam akibat proses pendinginan.

Penurunan defleksi secara bertahap dari  $0^\circ$  menuju  $270^\circ$  menunjukkan adanya akumulasi tegangan tarik yang menyebabkan penyusutan progresif, dengan titik terendah berada di  $270^\circ$ . Meskipun defleksi ini relatif ringan dan merata, kondisi tersebut menyisakan tegangan sisa yang dapat memengaruhi dimensi dan kekuatan sambungan pipa dalam jangka panjang. Oleh karena itu, kontrol suhu yang baik selama proses pengelasan sangat penting untuk mengelola tegangan sisa ini.



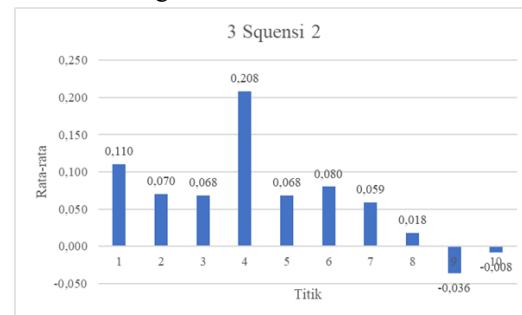
Gambar 13. Grafik 2 Squensi 3

Gambar 13. menunjukkan fluktuasi defleksi yang sangat ekstrem pada pipa baja yang dilas. Defleksi dimulai dari nilai 0,131 pada  $0^\circ$  dan melonjak tajam hingga 0,395 pada  $90^\circ$ , yang menunjukkan ekspansi termal signifikan akibat panas yang terkonsentrasi dan tidak merata. Setelah mencapai puncaknya, defleksi anjlok drastis ke nilai negatif, mencapai -0,064 pada  $270^\circ$  dan -0,094 pada  $360^\circ$ . Perubahan ekstrem dari ekspansi ke penyusutan ini mengindikasikan pendinginan yang terlalu cepat atau ketidakkonsistenan dalam teknik pengelasan, yang menimbulkan tegangan sisa yang menarik pipa ke arah dalam. Secara keseluruhan, grafik ini menggambarkan ketidakstabilan termal yang parah selama pengelasan, yang dapat berdampak buruk pada bentuk dan kekuatan sambungan las. Kontrol yang lebih baik terhadap parameter pengelasan sangat penting untuk mencegah hasil seperti ini.



Gambar 14. Grafik 3 Squensi 1

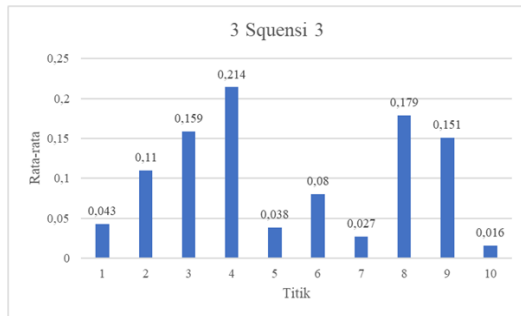
Berdasarkan grafik pada gambar 14. pengelasan pipa baja karbon menghasilkan pola defleksi yang stabil dan tidak ekstrem. Pengukuran defleksi menunjukkan peningkatan dari 0,084 di sudut  $0^\circ$  menjadi 0,166 di sudut  $90^\circ$ . Peningkatan ini terjadi karena akumulasi panas di awal proses pengelasan sebelum panas menyebar merata. Namun, setelah mencapai puncaknya di  $90^\circ$ , defleksi mulai menurun secara bertahap, menjadi 0,114 di  $270^\circ$  dan 0,108 di  $360^\circ$ . Penurunan yang stabil ini menunjukkan bahwa panas mulai tersebar lebih merata ke seluruh pipa. Tidak adanya lonjakan tajam atau defleksi negatif menunjukkan proses pengelasan dan pendinginan yang konsisten. Secara keseluruhan, hasil ini menegaskan bahwa kontrol parameter pengelasan yang baik dapat menghasilkan sambungan las yang stabil, berkualitas, dan memiliki defleksi yang ringan serta seimbang.



Gambar 15. Grafik 3 Squensi 2

Berdasarkan gambar 15. menunjukkan hasil pengelasan pipa baja karbon yang mengalami perubahan defleksi ekstrem. Awalnya, defleksi naik dari 0,131 di  $0^\circ$  menjadi 0,171 di  $90^\circ$  karena pemuaiian termal. Setelah itu, terjadi penurunan tajam menjadi nilai negatif (-0,028) di sudut  $270^\circ$ . Perubahan ini menandakan adanya penyusutan mendadak atau kompresi akibat pendinginan yang tidak merata atau

tegangan tarik yang tidak terkelola dengan baik. Defleksi kemudian sedikit meningkat ke  $-0,019$  di  $360^\circ$ , namun tetap negatif. Secara keseluruhan, pola ini menggambarkan ketidakstabilan termal yang parah selama proses pengelasan. Hal ini dapat dicegah dengan menyesuaikan teknik, seperti menjaga arus yang lebih konsisten atau menerapkan pola pengelasan yang lebih simetris.

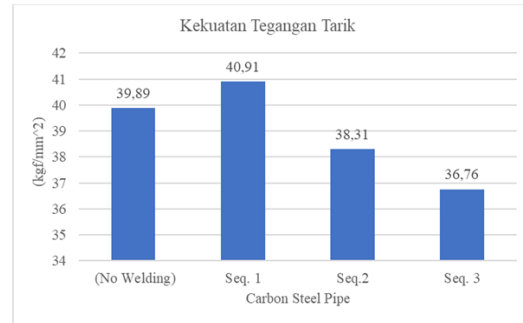


Gambar 16. Grafik 3 Squensi 3

Gambar 16. menjelaskan hasil pengukuran defleksi pada pipa baja karbon selama proses pengelasan. Hasilnya menunjukkan pola yang tidak stabil dan fluktuatif. Awalnya, defleksi menunjukkan nilai ekspansi termal yang tinggi ( $0,233$  di  $0^\circ$  dan  $0,205$  di  $90^\circ$ ) karena konsentrasi panas. Namun, defleksi kemudian anjlok tajam ke nilai negatif ( $-0,048$  di  $270^\circ$ , menunjukkan adanya penyusutan atau kontraksi yang besar akibat pendinginan yang terlalu cepat atau penumpukan tegangan sisa yang tidak merata. Meskipun defleksi kembali naik sedikit di akhir proses ( $0,016$  di  $360^\circ$ ), pipa tidak kembali ke bentuk aslinya. Pola ini mengindikasikan bahwa kontrol termal selama pengelasan tidak optimal, yang mengakibatkan distorsi geometris ekstrem. Untuk menghindari masalah ini, disarankan untuk mengoptimalkan teknik pengelasan, seperti menggunakan metode *backstep* atau menyesuaikan arus dan kecepatan gerak elektroda agar distribusi panas menjadi lebih seimbang.

### 3.3 Uji Tarik (Tensile Test)

Adapun grafik pengujian tegangan tarik dapat dilihat pada gambar 17.

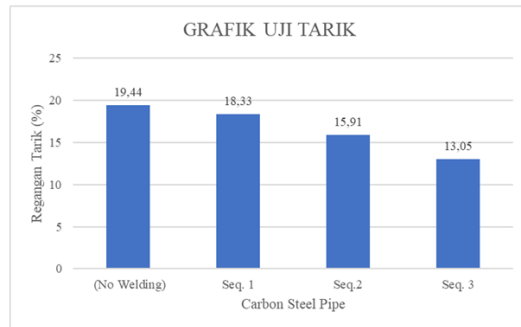


Gambar 17. Grafik kekuatan tegangan tarik

Hasil uji tarik yang digambarkan pada gambar 17. menunjukkan adanya perubahan kekuatan material pipa baja karbon setelah proses pengelasan SMAW. Kekuatan tarik awal material tanpa pengelasan adalah  $39,89$  kgf/mm<sup>2</sup>. Menariknya, pada sekuen pengelasan pertama (Seq. 1), kekuatan tarik meningkat menjadi  $40,91$  kgf/mm<sup>2</sup>. Kenaikan ini kemungkinan besar disebabkan oleh efek pengerasan struktur logam di sekitar zona yang terkena panas (*Heat Affected Zone/HAZ*), yang membuatnya mampu menahan tegangan lebih tinggi.

Namun, pada sekuen kedua (Seq. 2) dan ketiga (Seq. 3), kekuatan tarik justru mengalami penurunan signifikan menjadi  $38,31$  kgf/mm<sup>2</sup> dan  $36,76$  kgf/mm<sup>2</sup>. Penurunan ini dapat diartikan sebagai akibat dari akumulasi panas berulang yang menyebabkan degradasi pada struktur mikro logam, seperti pertumbuhan butir atau munculnya cacat mikro. Faktor seperti jenis elektroda E6013 yang digunakan juga dapat memengaruhi kualitas las dan kekuatan akhir material. Secara keseluruhan, hasil ini menyoroti pentingnya kontrol panas dan parameter pengelasan yang optimal untuk menjaga integritas dan kekuatan material dalam proses manufaktur.

Adapun untuk data hasil pengujian regangan tarik yang diperoleh dapat dilihat pada gambar 18.



Gambar 18. Grafik regangan tarik

Berdasarkan grafik pada gambar 16. proses pengelasan pipa baja karbon secara signifikan memengaruhi kemampuan material untuk mengalami deformasi plastis, yang diukur melalui persentase elongasi. Pada kondisi tanpa pengelasan, material menunjukkan kelenturan tinggi dengan elongasi 19,44%. Namun, setelah pengelasan pada sekuen pertama (Seq. 1), elongasi sedikit menurun menjadi 18,33%. Penurunan ini disebabkan oleh terbentuknya *Heat Affected Zone* (HAZ) yang lebih keras dan kurang lentur dari logam induk.

Penurunan elongasi menjadi lebih signifikan pada sekuen kedua (15,91%) dan ketiga (13,05%), menunjukkan bahwa material semakin getas atau rapuh seiring bertambahnya proses pengelasan. Kondisi ini terjadi akibat akumulasi panas yang berlebihan, pembentukan struktur mikro yang tidak homogen, atau munculnya cacat mikroskopis. Dengan demikian, hasil ini menegaskan bahwa pengelasan berulang dapat mengurangi sifat elastis dan plastis material, membuatnya lebih rentan terhadap patah saat menghadapi beban.

#### 4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian, dapat disimpulkan bahwa Proses pengelasan pipa baja karbon dengan variasi sequensi berhasil dilakukan menggunakan metode SMAW dan elektroda E6013. Ketiga jenis sequensi yang digunakan (sequensi 1, 2, dan 3) menunjukkan karakteristik hasil pengelasan yang berbeda. Sequensi 1 menghasilkan jalur las yang lebih merata dan simetris, sementara sequensi 2 dan 3 menunjukkan kecenderungan distorsi bentuk yang lebih tinggi.

Hasil pengukuran defleksi menunjukkan bahwa urutan pengelasan berpengaruh besar terhadap tingkat deformasi pada pipa. Sequensi 1 memberikan nilai defleksi paling kecil, artinya metode ini paling efektif dalam mengurangi distorsi termal akibat penyebaran panas yang lebih seimbang selama proses pengelasan. Sementara pada sequensi 3, defleksi yang dihasilkan lebih besar, mengindikasikan adanya distribusi panas yang tidak merata.

Pengujian sifat mekanik melalui uji tarik juga memperkuat pengaruh sequencing terhadap kekuatan sambungan las. Hasil menunjukkan bahwa sequensi 1 menghasilkan kekuatan tarik paling tinggi (40,91 kgf/mm<sup>2</sup>) dibandingkan sequensi lainnya. Namun, semakin tinggi tingkat sequensi (dalam hal urutan dan waktu panas yang diterima material), nilai regangan justru cenderung menurun, yang artinya material menjadi lebih kaku dan berpotensi lebih rapuh.

#### 5. Daftar Pustaka

- [1] T. Hidayat dan D. Firmansyah, "Pengaruh Variasi Heat Input terhadap dan Struktur Mikro Hasil Pengelasan SMAW pada Pipa Baja Karbon.," *J. Mesin Tek. Politek. Negeri Jakarta*, vol. 9, no. 1, hal. 45–51, 2020.
- [2] D. S. Devi, R. Kumar, dan U. Rajak, "Plastic waste as a biofuel feedstock-A conceptual study," *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 1116, no. 1, hal. 012029, 2021, doi: 10.1088/1757-899x/1116/1/012029.
- [3] Ogbonna, Akinlabi, Madushele, Mashinini, dan Abioye, "Application of MIG and TIG Welding in Automobile Industry," *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 1378, no. 4, hal. 1–10, 2019, doi: 10.1088/1742-6596/1378/4/042065.
- [4] C. Aakash dan V. Manoj Kumar, "Path Planning of an UAV with the Help of Lidar for Slam Application," *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 912, no. 6, hal. 1–7, 2020, doi: 10.1088/1757-899X/912/6/062013.
- [5] Nabil, Tammamand, dan ElKhatib, "Design of a smart energy efficient IoT wireless node," *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 1172, no. 1, hal. 1–14, 2021, doi: 10.1088/1757-899x/1172/1/012008.
- [6] A. Asokkumar, E. Jasiūnienė, R.

- Raišutis, dan R. J. Kažys, “Comparison of ultrasonic non-contact air-coupled techniques for characterization of impact-type defects in pultruded gfrp composites,” *Materials (Basel)*., vol. 14, no. 5, hal. 1–25, 2021, doi: 10.3390/ma14051058.
- [7] M. B. Miglierini, “Radiation effects in amorphous metallic alloys as revealed by mössbauer spectrometry: Part ii. ion irradiation,” *Metals (Basel)*., vol. 11, no. 8, hal. 1–18, 2021, doi: 10.3390/met11081309.
- [8] J. Jimmy, “Identification of Significant Factors in Railway Accidents Dataset Using SOM Data Mining,” *Int. Res. J. Eng. Technol.*, vol. 7, no. 5, hal. 722–725, 2020.
- [9] R. Akhmad dan D. W. Hapsoro, “Pengaruh Urutan Pengelasan terhadap Distorsi Las pada Sambungan T.,” *J. Tek. Mesin Univ. Muhammadiyah Surakarta*, vol. 9, no. 2, hal. 89–96, 2021.
- [10] M. Farid dan Y. A. Dharma, “Studi Eksperimen Pengaruh Urutan Pengelasan terhadap Besarnya Distorsi Las.,” *Mek. J. Tek. Mesin Univ. 17 Agustus 1945 Surabaya*, vol. 6, no. 2, hal. 80–86., 2021.