

## Evaluasi Jenis Elektroda SMAW Terhadap Kekuatan Sambungan Pipa Baja ASTM A106 Grade B

Trisma Jaya Saputra<sup>1)</sup>, Anita Sari<sup>2)</sup>, R. Faiz Listyanda<sup>3)</sup>

<sup>1-3)</sup>Universitas Tidar, Magelang

<sup>1)</sup>trismajayasaputra@untidar.ac.id, <sup>2)</sup>anita.sari160602@gmail.com,

<sup>3)</sup>faizlistyanda@untidar.ac.id

### Abstrak

Teknologi pengelasan logam digunakan saat ini sudah dapat menyambungkan dua jenis logam yang berbeda. Pengelasan tersebut masih sering dijumpai cacat las, permasalahan yang sering dihadapi adalah perbedaan titik lebur, koefisien muai, sifat fisis dan mekanis. Maka dilakukan penelitian untuk mengetahui pengaruh variasi jenis elektroda antara baja karbon rendah ASTM 106 gr B terhadap sifat mekanis dan fisisnya. Metode penelitian ini menggunakan eksperimental, pengelasan SMAW variasi jenis elektroda E7016 dan E7018. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa jenis elektroda berpengaruh terhadap kekuatan tarik, kekerasan, dan struktur mikro. Kekuatan tarik tertinggi sebesar 561,5 MPa dengan regangan 16,67 % dan modulus elastisitasnya 3387 Mpa. Hasil uji penetrasi menunjukkan spesimen dengan variasi elektroda E7016 memiliki cacat las yang lebih kecil. Hasil uji struktur mikro menunjukkan unsur fasa yang terbentuk pada E7018 yaitu *ferrite* dan *perlite* yang lebih merata

**Kata Kunci:** cacat sambungan las, kekuatan, uji tarik, penetrasi, mikro, variasi jenis elektroda.

### Abstract

*The metal welding technology used today can connect two different types of metal. Welding defects are often found in welding, the problems often encountered are differences in melting point, expansion coefficient, physical and mechanical properties. So research was carried out to determine the effect of variations in electrode type between ASTM 106 gr B low carbon steel on its mechanical and physical properties. This research method uses experimental, SMAW welding variations of the E7016 and E7018 electrode types. The results of this research show that the type of electrode influences tensile strength, hardness and microstructure. The highest tensile strength is 561.5 MPa with a strain of 16.67% and an elastic modulus of 3387 MPa. Penetrant test results show that specimens with the E7016 electrode variation have smaller weld defects. The microstructure test results show that the phase elements formed in E7018, namely ferrite and pearlite, are more evenly distributed.*

**Keywords:** problem, objective, method, result, research.

### Pendahuluan

Perkembangan IPTEK di Indonesia pada era sekarang mengalami kemajuan yang sangat cepat seperti penggunaan sistem aliran fluida yang ada di *industry Oil and Gas*.

Sistem pemipaan merupakan sistem yang paling baik untuk mengangkut cairan fluida dari satu tempat ke tempat selanjutnya. Ketika terjadi pemuaiian pada pipa mengakibatkan terjadi retak untuk menghindari adanya kebocoran. Salah satu faktor yang mempengaruhi kekuatan pada pipa yaitu pada bagian sambungan pengelasan (Christina & Wardhani, 2020).

*Shield Metal Arc Welding (SMAW)* atau disebut dengan las elektroda terbungkus yaitu suatu proses penyambungan dua keping logam menjadi suatu sambungan yang tetap, dengan menggunakan sumber panas listrik dan bahan tambahan atau pengisi berupa elektroda terbungkus. Penggunaan elektroda yang berbeda akan mempengaruhi hasil dari kekuakatan pengelasan, sehingga membutuhkan elektroda yang sesuai untuk mendapatkan hasil pengelasan yang maksimal (Siddiq et al., 2019). Dalam pengelasan terdapat symbol atau kode yang berfungsi untuk memastikan bahwa semua pihak memahami persyaratan yang sama.

Elektroda E7018 memiliki kemampuan untuk menghasilkan lasan yang berkekuatan tinggi, sedangkan jenis elektroda E7016 merupakan jenis elektroda yang memiliki kemampuan untuk menembus karat, cat, dan kotoran pada logam dasar. Pada penelitian yang sudah dilakukan pengelasan SMAW pada material AISI 1050 menggunakan jenis elektroda E7010 dan E7018 dimana kekuatan tarik pada elektroda E7018 memiliki nilai sebesar  $46,56 \text{ kgf/mm}^2$  dan elektroda E7010 memiliki nilai kekuatan tarik sebesar  $46,49 \text{ kgf/mm}^2$ . Hal ini membuktikan bahwa Elektroda yang memiliki komposisi kimia yang berbeda, dapat mempengaruhi hasil dari sambungan las, seperti kekuatan tarik, ketangguhan, dan ketahanan terhadap retak serta mempengaruhi ketahanan terhadap korosi dan sifat mekanis material seperti material baja ASTM 106 gr B.

Baja ASTM A106 *grade B* merupakan jenis pipa baja tanpa sambungan yang memiliki kekuatan tinggi untuk keperluan kontruksi *pipeline*, dalam pengaplikasiannya melibatkan suhu tinggi dan tekanan. Baja ini tergolong dalam baja karbon rendah dengan kandungan utama besi dan karbon dengan komposisi karbon 0,3%, memiliki sifat mekanik terdiri dari keuletan, kekerasan, kekuatan dan ketangguhan, sifat mekanik merupakan acuan untuk melakukan proses selanjutnya terhadap suatu material, untuk mengetahui sifat mekanik pada suatu logam maka diperlukan pengujian terhadap logam tersebut (Femi Imanudin Purba & Fathier, 2020).

Uji tarik merupakan uji merusak yang digunakan untuk mengukur beban tarik maksimum. Hasil uji tarik lasan dibandingkan dengan kekuatan tarik benda kerja sebelum dilas sehingga bisa diketahui bila ada perubahan struktur ataupun faktor lain karena pengaruh pengelasan. Sedangkan *dye penetrant test* merupakan ujip cacat las dapat dilihat dengan cara menyemprotkan cairan *penetrant* yang dapat meresap (Yunianto et al., 2023). Guna mendapatkan hasil pengujian yang akurat, maka diperlukan pengamatan struktur mikro guna mengetahui antara sifat bahan dengan struktur pada bahan. Hal ini sangat berhubungan erat dengan pipa yang terkena beban atau gaya dari dalam maupun dari luar (Ahmadin, 2021).

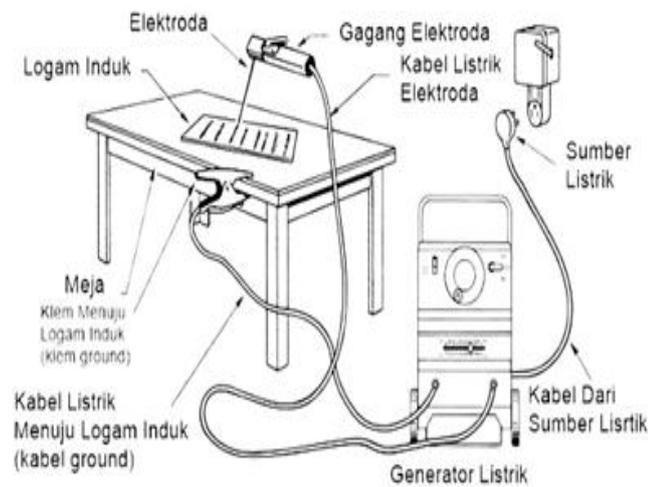
Berdasarkan permasalahan di atas penulis akan melakukan penelitian tentang Evaluasi Jenis Elektroda SMAW terhadap Kekuatan Sambungan Pipa Baja ASTM A106 Grade B Menggunakan Metode *Tensile Test*, *Dye Penetrant Test* dan Uji Struktur Mikro. Penelitian ini akan menggunakan jenis elektroda E7018 dan E7016. Hasil dari penelitian ini diharapkan memberikan pengetahuan dan manfaat agar dapat terus dikembangkan dan diaplikasikan pada industri minyak dan gas ataupun industri yang lain

### Metode

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimental. Penelitian dilakukan pengujian sebanyak 12 kali. Material yang digunakan yaitu baja ASTM A106 grade B. Kemudian dalam proses pengelasan menggunakan variasi jenis elektroda yaitu Elektroda E7018 dan E7016. Proses pengelasan menggunakan jenis pengelasan SMAW kemudian pengambilan nilai kekuatan tarik dilakukan dengan mesin tarik dan pengamatan cacat las secara visual menggunakan pengujian *dye penetrant test* dan pengamatan cacat las menggunakan uji struktur mikro. Dari hasil percobaan tersebut kemudian diambil data dan kesimpulan.

Las Pengelasan *Shield Metal Arc Welding* yaitu pengelasan yang di klasifikasikan sebagai las busur gas dan fluk. Pada proses pengelasan *Shield Metal Arc Welding* bahan penyambung berupa kawat las dengan lapisan fluks yang berfungsi melapisi logam las dari gas oksidasi dari luar. Sebagaimana di jelaskan dalam *American Welding Society* (AWS) prinsip dari pengelasan *shield metal arc welding* yaitu menggunakan panas dari busur listrik dari ujung sebuah elektroda tertutup dengan tegangan listrik yang dipakai 23 - 45 Volt, dan untuk pencairan digunakan arus listrik hingga 500 amper yang pada umum

digunakan berkisar antara 80-200 A. (Nugroho et al., 2022). Skema pengelasan SMAW ditunjukkan pada gambar berikut.



Gambar 1a. Skema Pengelasan SMAW

Kekuatan hasil lasan dipengaruhi oleh besar kuat arus, penentuan besarnya arus dalam penyambungan logam digunakan las busur yang mempengaruhi efisiensi pekerjaan dan bahan las. Arus yang terlalu kecil akan menghasilkan penetrasi dan penguatan yang rendah, jika arus terlalu besar akan menghasilkan manik las yang kekuatan sambungannya rendah dan mudah timbul retak. Kecepatan pengelasan yang rendah akan menyebabkan pencairan yang banyak dan pembentukan manik yang datar, sedangkan kecepatan pengelasan yang terlalu tinggi akan menyebabkan manik yang cekung. Bila kecepatan pengelasan dinaikan maka jumlah deposit persatuan menurun, tetapi pada kecepatan tertentu kenaikan kecepatan akan memperbesar penembusan (Pasalbessy, 2015).

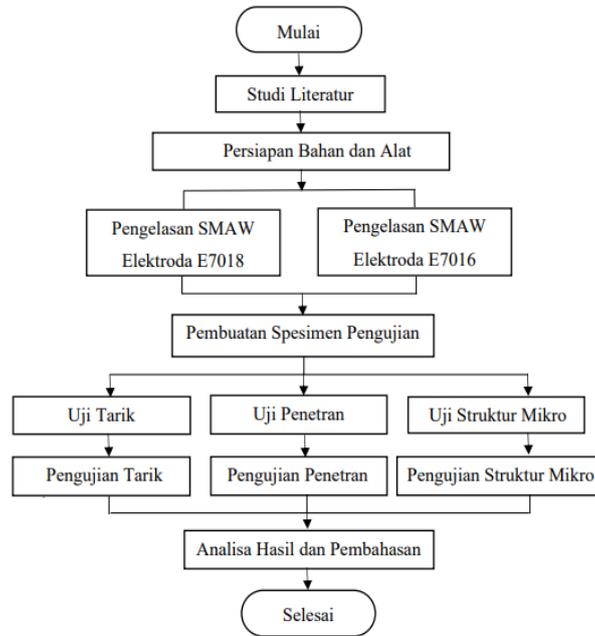
Elektroda adalah suatu material yang digunakan untuk melakukan pengelasan listrik yang berfungsi sebagai bahan tambahan yang akan menimbulkan busur nyala. Pengelasan dengan menggunakan las busur listrik memerlukan kawat las (elektroda) yang terdiri dari satu inti terbuat dari logam yang dilapisi lapisan dari campuran kimia. Elektroda terdiri dari dua bagian yaitu bagian yang berselaput (fluks) dan tidak berselaput yang merupakan pangkal untuk menjepitkan tang las. Fungsi dari fluks adalah untuk melindungi logam cair dari lingkungan udara, menghasilkan gas pelindung dan menstabilkan busur. Bahan fluks yang digunakan untuk jenis E7016 adalah serbuk besi

dan hidrogen rendah, jenis ini menghasilkan sambungan dengan kadar hidrogen rendah sehingga kepekaan sambungan terhadap retak sangat rendah.

Baja merupakan paduan yang terdiri dari unsur besi (Fe), karbon (C), dan unsur lainnya, secara garis besar baja diklasifikasikan menjadi baja karbon dan baja paduan. Baja karbon dibagi menjadi tiga macam yaitu baja karbon rendah, baja karbon sedang dan baja karbon tinggi, Baja karbon menengah memiliki kandungan karbon 0.3 s.d 0.8 %. Baja karbon tinggi memiliki kandungan karbon sebesar 0.8 s.d 2 %, sedangkan baja paduan juga terbagi menjadi baja paduan rendah, baja paduan sedang dan baja paduan tinggi. Pipa Baja ASTM A106 *grade B* termasuk kedalam golongan pipa baja karbon rendah karena di dalam nya terdapat kandungan unsur karbon 0.3% (Khalifah & Yunus, 2021).

Pengujian Tarik atau disebut juga dengan *destructive test* yang merupakan pengujian fisik suatu material dengan merusak material atau spesimen untuk mencari kekuatan maksimum pada material tersebut, atau bisa diartikan uji tarik merupakan pengujian dengan cara menarik benda uji sampai putus menggunakan sebuah alat. Uji tarik banyak dilakukan untuk melengkapi informasi rancangan dasar kekuatan suatu bahan dan sebagai data pendukung bagi spesifikasi bahan (Pasalbessy, 2015).

Metode *liquid penetrant test* merupakan metode tanpa merusak (*destructive test*) yang paling sederhana, tujuan dari pengujian tanpa merusak adalah untuk mendeteksi cacat dengan suatu prosedur tertentu pada suatu benda oleh seorang operator. Pengujian ini menggunakan cairan *penetrant* ini digunakan untuk menemukan cacat di permukaan terbuka dari komponen solid, Melalui metode ini, cacat pada material akan terlihat lebih jelas (Endramawan et al., 2017). Pengujian struktur mikro dapat menganalisis cacat las setelah mengalami proses perlakuan panas agar dapat membandingkan hasil pengujian yang dilakukan pengamatan cacat las menggunakan mikroskop. Diagram alir dalam penelitian ini dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 1b. Alur penelitian

### Hasil dan Pembahasan

Hasil uji tarik menggunakan elektroda E7016 pada spesimen pertama memiliki tebal 5 mm, lebar 12,06 mm, dan beban tarik yang diberikan sebesar  $2566,65 \text{ kgf/mm}^2$  menghasilkan tegangan tarik maksimum senilai 417 Mpa, regangan 10,72% dan modulus elastisitas sebesar 38,89 Mpa. Pada spesimen kedua memiliki tebal 5 mm, lebar 12,09 mm, dan beban tarik yang diberikan sebesar  $2601,96 \text{ kgf/mm}^2$ , menghasilkan kenaikan tegangan tarik maksimum sebesar 421,9 Mpa, penurunan regangan sebesar 10,21% dan kenaikan modulus elastisitas sebesar 41,32 Mpa. Pada spesimen ke tiga memiliki tebal 5 mm, lebar 12,63 mm, dan beban tarik yang diberikan sebesar  $2958,49 \text{ kgf/mm}^2$  menghasilkan kenaikan tegangan tarik maksimum sebesar 459,5 Mpa, kenaikan regangan sebesar 16,79% dan modulus elastisitas sebesar 27,36 Mpa.

Berdasarkan tabel 4.2 hasil uji tarik menggunakan elektroda E7018 pada spesimen pertama memiliki tebal 5 mm, lebar 12,3 mm, dan beban tarik yang diberikan sebesar 3442,13 kgf menghasilkan tegangan tarik maksimum senilai 549,5 Mpa, regangan 15,43% dan modulus elastisitas sebesar 3563,7 Mpa. Pada spesimen kedua memiliki tebal 5 mm, lebar 12,63 mm, dan beban tarik yang diberikan sebesar 3630,44 kgf, menghasilkan kenaikan tegangan tarik maksimum sebesar 563,8 Mpa, penurunan regangan sebesar 16,14% dan modulus elastisitas sebesar 3493,9 Mpa. Pada spesimen ke tiga memiliki tebal 5 mm, lebar 12,63 mm, dan beban tarik yang diberikan sebesar 3675

kgf menghasilkan kenaikan tegangan tarik maksimum sebesar 571,4 Mpa, regangan sebesar 18,46% dan modulus elastisitas sebesar 3105 Mpa. Dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 1 nilai uji tarik

Jenis Elektroda	Tebal (mm)	Lebar (mm)	A (mm <sup>2</sup> )	Lo (mm)	$\Delta L$ (mm)	F max (Kgf)	Tegangan Tarik (Mpa)	Regangan Tarik (%)	Modulus elastisitas (Mpa)
E7016	5	12,06	60,31	50	5,36	2566,65	417,6	10,72	3892
	5	12,09	60,46	50	5,1	2601,96	421,8	10,2	4131
	5	12,63	63,15	50	8,39	2958,49	459,2	16,79	2736
Rata-rata							432,8	12,57	3586
Jenis Elektroda	Tebal (mm)	Lebar (mm)	A (mm <sup>2</sup> )	Lo (mm)	$\Delta L$ (mm)	F max (Kgf)	Tegangan Tarik (Mpa)	Regangan Tarik (%)	Modulus elastisitas (Mpa)
E7018	5	12,3	61,5	50	7,71	3442,13	549,5	15,42	3563,7
	5	12,63	63,15	50	8,07	3630,44	563,8	16,14	3493,9
	5	12,63	63,15	50	9,23	3675	571,4	18,46	3105
Rata-rata							561,5	16,67	3387,5

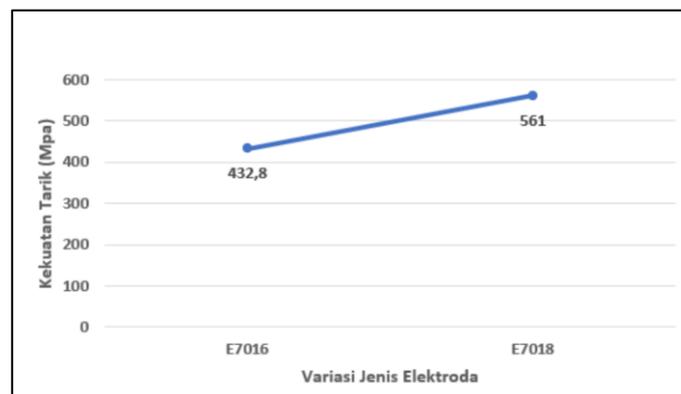
Regangan spesimen ke dua pada elektroda E7016 menurun karena mengalami gaya tarik yang lebih besar tetapi tidak meregang, atau bisa di artikan distribusi beban yang tidak merata pada area lasan yang di tarik, perbedaan nilai luas penampang dan beban tarik yang di berikan mengakibatkan perbedaan nilai tegangan, regangan dan nilai modulus elastisitas (Astuti, 2017). Rata-rata kekuatan tarik dari tiga spesimen sambungan las baja karbon rendah ASTM 106 Grade B dengan jenis elektroda E7016 adalah senilai 432,8 Mpa, dengan rata-rata regangan 12,57% dan modulus elastisitasnya 3586 Mpa.

Nilai uji tarik pada spesimen yang menggunakan elektroda E7018 memiliki persamaan ukuran lebar spesimen kedua dan ketiga, menghasilkan nilai tegangan, regangan dan modulus elastisitas yang berbeda, hal ini terjadi karena perbedaan beban tarik yang diberikan mengikuti kualitas hasil lasan yang solid (Salindeho, 2013). Elektroda E7018 yang memiliki kandungan hydrogen yang rendah pada fluks dipadukan dengan pengelasan pipa baja ASTM 106 gr B yang memiliki ketahanan untuk aplikasi tekanan tinggi dan suhu tinggi serta distribusi panas yang efektif selama pengelasan membuat penetrasi yang cukup dan menghasilkan nilai uji tarik yang tinggi. Rata-rata kekuatan tarik untuk jenis elektroda E7018 senilai 561,5 Mpa, dengan rata-rata regangan 16,67% dan modulus elastisitasnya 3387,5 Mpa.

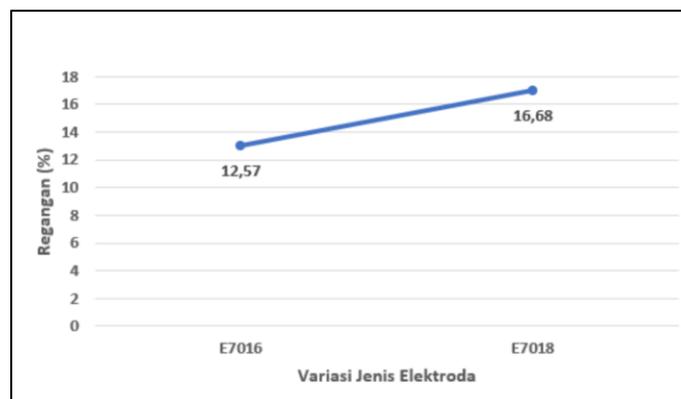
Hasil pengujian kekuatan tarik menunjukkan perbedaan nilai tegangan, regangan dan modulus elastisitas antara masing-masing variasi jenis elektroda. Nilai tegangan,

regangan tertinggi diperoleh pada variasi jenis elektroda E7018 dengan rata-rata kekuatan tarik 561 Mpa dan rata-rata regangan 16,68%. Sebaliknya, Nilai kekuatan tarik dan regangan terendah ditemukan pada variasi jenis elektroda E7016 dengan rata-rata kekuatan tarik 432,8 Mpa dan rata-rata regangan 12,57%.

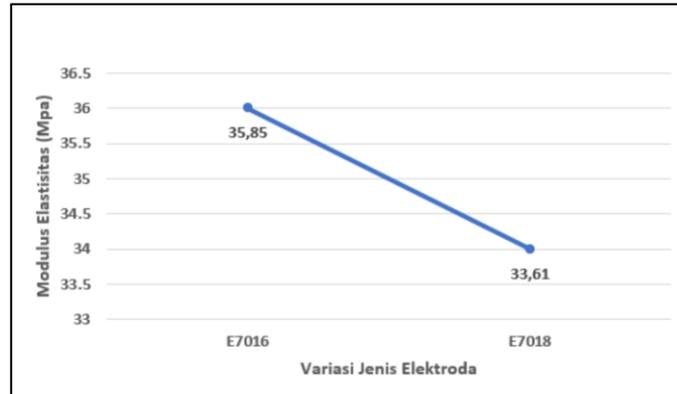
Hasil uji kekuatan tarik menunjukkan bahwa spesimen hasil pengelasan dengan variasi jenis elektroda E7016 dan E7018 memiliki perbedaan nilai kekuatan tarik. Hal ini sesuai dengan hipotesis pertama, yang menyatakan bahwa terdapat perbedaan nilai kekuatan tarik berdasarkan variasi jenis elektroda yang digunakan saat pengelasan. Elektroda yang digunakan pada pengelasan SMAW mempunyai perbedaan komposisi selaput maupun kawat inti dan komposisi kimia dapat mempengaruhi sifat mekanik pada sambungan material hasil pengelasan yang berdampak pada kekuatan dan ketangguhan sambungan pengelasan, E7018 mengandung tambahan elemen paduan seperti mangan, titanium, dan silikat dalam fluksnya. Bahan-bahan ini berfungsi untuk meningkatkan kekuatan sambungan las dan meningkatkan keuletan. Titanium membantu menstabilkan arus dan memperbaiki struktur mikro. (Juniarianto & Dwisetiono, 2021).



Gambar 2 Grafik Kekuatan Tarik



Gambar 3 Grafik Regangan Tarik



Gambar 4 Grafik Uji Modulus Elastisitas Tarik

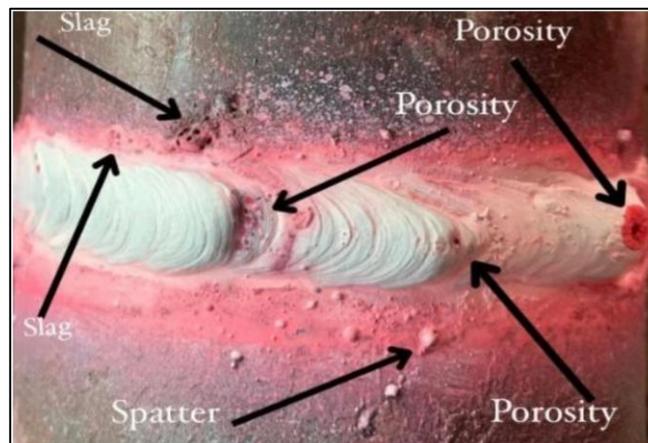
Tegangan berbanding lurus dengan regangan, semakin tinggi nilai tegangan, semakin tinggi pula nilai regangannya. Kekuatan tarik dan regangan tidak berbanding lurus dengan modulus elastisitas, semakin tinggi nilai kekuatan tarik dan tegangan, maka semakin rendah nilai modulus elastisitasnya. Apabila nilai modulus elastis tinggi, maka material tersebut lebih sulit mengalami perubahan bentuk atau deformasi.

Pada pengujian penetran pengujian spesimen dengan jenis elektroda E7016 terlihat bahwa adanya cacat las *spatter* yang berukuran 1 mm di bagian *base metal* hal ini terjadi karena hal ini terjadi karena pada saat proses pengelasan jarak antara elektroda dan material yang terlalu jauh mengakibatkan timbulnya percikan elektroda diluar area las. sedangkan pada daerah las tidak ditemukan warna merah menunjukkan bahwa tidak ada cacat las di area tersebut. Dalam melakukan pengujian NDT perlu diperhatikan diantaranya jenis material, Jenis Cacat, lokasi Cacat dan ukuran cacat dari material tersebut (Irwansyah, 2019). Hasil pengujian penetran menggunakan elektroda E7016 dapat dilihat pada gambar 5.



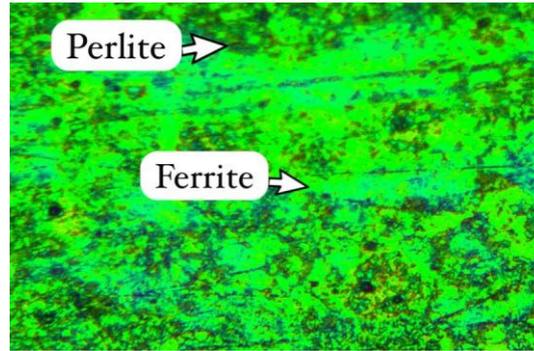
Gambar 5 Cacat Las Elektroda E7016

Hasil dari pengujian spesimen dengan jenis elektroda E7018 didapatkan bahwa cacat las di daerah yang sama dimana daerah tersebut terindikasi sebagai cacat *spatter* berukuran 0,5 mm hal ini terjadi karena pada saat proses pengelasan jarak antara elektroda dan material yang terlalu jauh, indikasi cacat las *porosity* diarea pengelasan berukuran 0,5 mm hal ini terjadi karena rongga-rongga kecil yang terbentuk akibat gas yang terperangkap selama proses pengelasan. Indikasi cacat yang selanjutnya adalah *slag* berukuran 0,3 mm hal ini terjadi ketika residu terak tidak sepenuhnya terangkat dari permukaan las dan terperangkap dalam logam seperti cat atau karat yang masih menempel pada permukaan material. Cacat las seperti kerusakan atau ketidaksempurnaan pada permukaan las yang terindikasi akan menyebabkan menurunnya kualitas sambungan las, kekuatan dan mempengaruhi sifat mekanisnya (Yunianto & Wicaksono, 2023) Hasil pengujian penetran menggunakan elektroda E7018 dapat dilihat pada gambar 4.6.



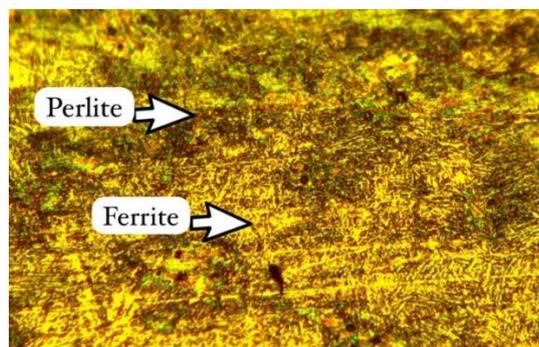
Gambar 6 Cacat Las Elektroda E7018

Struktur Mikro Elektroda E7016 gambar di bawah menunjukkan foto hasil struktur mikro sambungan las dengan variasi E7016. Dalam pengamatan ini terlihat adanya cacat pada area las. Struktur mikro yang terlihat pada gambar di atas terdiri dari perlite dan ferrite. Struktur metal ASTM 106 grade B terlihat struktur mikro baja karbon rendah terlihat warna lebih terang yang mewakili ferrite dan warna gelap yang mewakili fasa perlite. Dalam pengamatan ini ferrit terlihat lebih banyak dari pada perlite yang berarti homogenitas antara komposisi elektroda E7016 dan komposisi logam induk menghasilkan kandungan karbon lebih rendah, sehingga material lebih lunak dan lentur, tetapi kekuatannya lebih rendah. Gambar struktur mikro area las dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 7 Hasil uji struktur mikro daerah las E7016

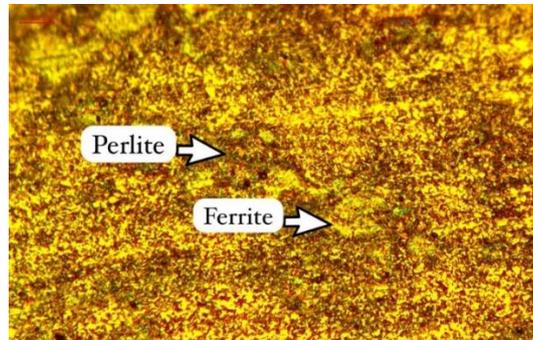
Material ASTM A106 Gr B memiliki kandungan karbon yang relatif rendah. Pada baja karbon rendah, pembentukan *ferrite* lebih diutamakan karena jumlah karbon yang lebih sedikit membuat pembentukan perlit berkurang. Baja dengan kandungan karbon rendah cenderung menghasilkan lebih banyak ferrit setelah pendinginan, terutama dalam kondisi pengelasan dengan masukan panas yang tinggi. Pada daerah las terlihat terdapat fasa *ferrite* yang lebar bersifat lunak. E7016 pada daerah las memiliki masukan panas yang tinggi yang dapat menyebabkan laju pendinginan lebih lambat sehingga menghasilkan butir mikrostruktur yang lebih besar, khususnya pada fasa *ferrit*. Ukuran butir yang lebih besar cenderung menurunkan kekuatan mekanik (menurut hukum *Hall-Petch*). Penyebaran yang tidak merata menyebabkan perbedaan sifat mekanis dan mudah patah pada area las.



Gambar 8 Hasil uji mikro daerah HAZ spesimen E7016

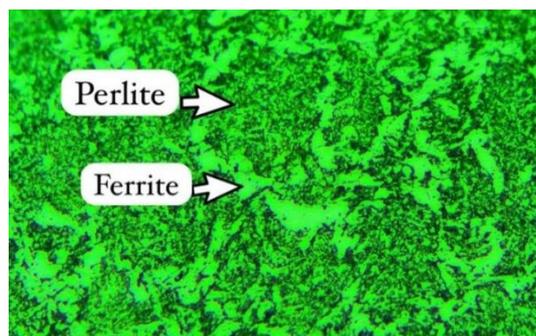
Daerah HAZ terlihat fasa *ferrite* dan *perlite* yang terkumpul pada satu daerah, hal ini terjadi karena adanya kandungan karbon yang tidak merata. Daerah HAZ berada di antara material dasar yang tidak dipanaskan dan daerah las (*fusion zone*) yang meleleh sepenuhnya. Akibatnya, HAZ mengalami pemanasan hingga ke temperatur di bawah titik leleh tetapi memicu perubahan struktur mikro. Suhu di HAZ berada pada rentang di mana

baja karbon rendah ASTM A106 Gr B mulai mengalami transformasi fasa, di mana austenit terbentuk selama pemanasan dan kemudian berubah menjadi perlit saat pendinginan. Pendinginan lebih cepat dari suhu austenit ke suhu yang lebih rendah menyebabkan terbentuknya perlit dalam jumlah lebih besar.



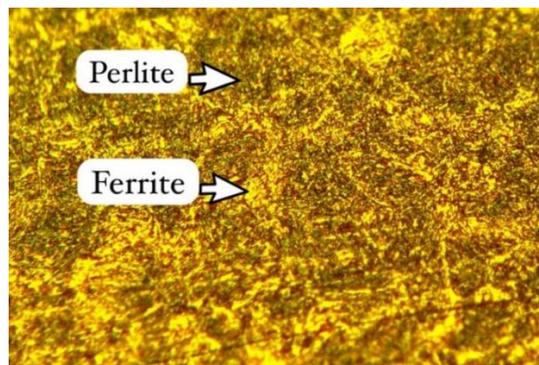
Gambar 9 Daerah base metal uji struktur mikro E7016

Base terlihat fasa terkumpul di bagian tengah. Pearlite di atas terbentuk saat karbon dalam baja menurun dari *austenite* ke fasa *ferrite* dan *cementite*. Ketika pendinginan terjadi secara bertahap, karbon yang terjebak di austenit akan terkonsentrasi di area-area tertentu yang kemudian membentuk perlit di daerah tengah dari base metal akan mengalami pendinginan yang lebih lambat dan masukan panas yang lebih sedikit dibandingkan dengan daerah dekat permukaan. Hal ini karena panas dari bagian tengah material perlu waktu lebih lama untuk berpindah ke permukaan dan dilepaskan. Pendinginan yang lebih lambat dapat memfasilitasi pertumbuhan perlit di daerah tengah, karena pendinginan lambat memberikan lebih banyak waktu membentuk karbon yang lebih tinggi untuk berdifusi dan membentuk cementite, yang kemudian berasosiasi dengan ferrit untuk membentuk perlit. (Ridwan et al., 2016).



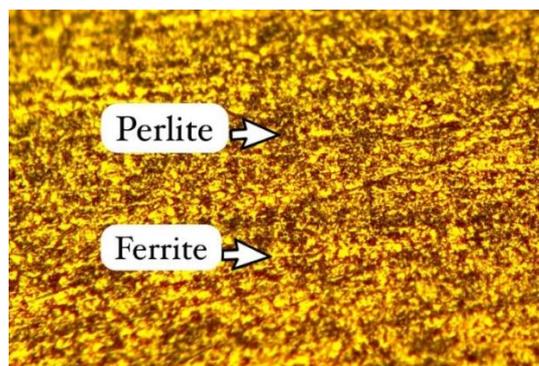
Gambar 10 Daerah las uji mikro spesimen E7018

Struktur mikro pada gambar 10 daerah las spesimen yang menggunakan elektroda E7018 terlihat homogenitas yang stabil antara unsur kimia E7018 dan ASTM 106 gr B, hal ini di tunjukkan oleh struktur *perlite* dan *ferrite* yang seimbang. Fasa *ferrite* yang lebih lebar terjadi karena masukan panas yang tinggi pada area las. Elektroda E7018 memiliki flux *low-hydrogen* yang mengandung elemen paduan tambahan, seperti mangan (Mn) dan silikon (Si) membantumemperbaiki distribusi mikrostruktur dalam logam las, meningkatkan pembentukan perlit dan ferrit secara lebih seimbang.



Gambar 11 Daerah HAZ uji mikro spesimen E7018

Daerah HAZ menunjukkan fasa *perlite* lebih mendominasi dari pada *ferrite* karena proses pendinginan yang lambat sedangkan di area base metal terlihat butir yang kecil pada fasa *perlite* dan fasa *ferrite*, butir fasa yang lebih halus dan rapat akan meningkatkan kekuatan material dan mencegah adanya cacat las seperti retak ataupun porositas. Bagian HAZ yang lebih dekat dengan zona las akan mengalami suhu yang lebih tinggi dan pendinginan yang sedikit lebih lambat, sementara bagian yang lebih jauh dari zona las mengalami pendinginan lebih cepat (Bambang et al., 2023).



Gambar 12 Base metal uji mikro spesimen E7018

Pada gambar 12 menunjukkan Kombinasi ferrit dan perlit yang seimbang pada *base metal* di pengelasan E7018 memberikan kekuatan tarik dan ketangguhan yang optimal, hal ini terjadi karena pada daerah *base metal* memiliki masukan panas yang paling sedikit dan merata. Ferrit yang lebih lunak memberikan ketangguhan dan keuletan, sementara perlit yang lebih keras memberikan kekuatan tarik dan kekerasan.

### Simpulan dan Saran

Jenis elektroda berpengaruh terhadap kekuatan tarik pipa baja ASTM 106 gr B hasil pengelasan SMAW dengan jenis elektroda E7016 dan E7018. Spesimen dengan jenis elektroda E7018 memiliki kekuatan tarik tertinggi senilai 561,5 Mpa dan regangan 16,67% dengan modulus elastisitasnya 3387,5 Mpa, diikuti oleh spesimen dengan jenis elektroda E7016 memiliki rata-rata kekuatan tarik senilai 432,8 Mpa dan regangan 12,57% dengan modulus elastisitasnya 3586 Mpa.

Jenis elektroda berpengaruh terhadap hasil cacat las menggunakan *dye penetrant test* pipa baja ASTM 106 gr B hasil pengelasan SMAW dengan jenis elektroda E7016 dan E7018. Spesimen dengan jenis elektroda E7016 terindikasi 1 jenis cacat las berupa cacat *spatter* berukuran 0,5 mm di area HAZ. Jenis elektroda E7018 terindikasi cacat las berupa cacat *spatter* berukuran 0,5 mm di area HAZ dan cacat las *porosity* di area pengelasan berukuran 0,5 mm dan *slag* di tepi HAZ berukuran 0,3 mm.

Jenis Jenis elektroda berpengaruh terhadap struktur mikro pipa baja ASTM 106 gr B hasil pengelasan SMAW dengan jenis elektroda E7016 dan E7018. Jenis elektroda E7016, dan terdapat fasa *ferrite* yang mendominasi. Sedangkan pada pengamatan mikro menggunakan jenis elektroda E7018 ditemukan cacat pada area lasan dan terdapat fasa *perlite* yang mendominasi sehingga kekuatan tarik pada E7018 lebih tinggi.

### Daftar Pustaka

- Ahmadin, A. (2021). Pengujian Kekerasan Dan Struktur Mikro Plat Baja Karbon Rendah Setelah Proses Pemanasan Dengan Suhu 8000c Di Quenching Bio Solar. *Majalah Teknik Simes*, 15(2), 8. <https://doi.org/10.32663/simes.v15i2.2063>
- Azis, R. A., Suharno, S., & Saputro, H. (2019). Pengaruh Variasi Diameter Elektroda E7018 Terhadap Kekuatan Tarik, Kekerasan, dan Struktur Mikro Pengelasan pada Baja Karbon Rendah Jenis SS400 dengan Metode SMAW. *Jurnal Teknik*, 17(2), 94–105. <https://doi.org/10.37031/jt.v17i2.53>
- Bontong, Y., & Lasarus, R. (2019). Analisa Kekerasan Dan Ketangguhan Pada Daerah Haz Hasil Las Metode SMAW. *Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Kristen Indonesia Toraja*, 1–5.

- Endramawan, T., Haris, E., Dionisius, F., & Prinka, Y. (2017). Aplikasi Non Destructive Test Penetrant Testing (Ndt-Pt) Untuk Analisis Hasil Pengelasan Smaw 3G Butt Joint. *JTT (Jurnal Teknologi Terapan)*, 3(2), 44–48. <https://doi.org/10.31884/jtt.v3i2.61>
- Faizal, M., & Salam, A. R. (2018). Pengaruh Arus Pengelasan Pada Baja ASTM SA 516 GR70 Terhadap Kekuatan Tarik Dan Ketangguhan Las SMAW Dengan Elektroda E7018. *Bina Teknika*, 14(1), 55. <https://doi.org/10.54378/bt.v14i1.271>
- Femi Imanudin Purba, M., & Fathier, A. (2020). Pengaruh variasi temperatur PWHT dan tanpa PWHT terhadap sifat kekerasan baja ASTM A106 grade B pada proses pengelasan SMAW. *Journal of Welding Technology*, 2(1), 13–18.
- Ikhsan, M. (2022). Tinjauan Daya Uji Tarik Dan Kekerasan Reaksi Pengelasan Baja Karbon Tinggi ( Aisi 1070 ) Pada Las Tig ( Tungsten Inert Gas ) Dengan Variasi Arus 120 , 130 , 140 Ampere. *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Teknik*, 2(Aisi 1070), 1–12.
- Juniarianto, F., & Dwisetiono. (2021). Perbandingan Jenis Elektroda E7016 Dan E7018 Terhadap Sifat Mekanik Hasil Pengelasan Smaw. *Hexagon Jurnal Teknik Dan Sains*, 2(2), 7–10. <https://doi.org/10.36761/hexagon.v2i2.1081>
- Khalifah, A. N., & Yunus. (2021). Pengaruh Variasi Arus Pengelasan Smaw Pada Refinery Pipe Astm a 106 Grade B Terhadap Kekuatan Impak Dan Kekerasan. *Jurnal Teknik Mesin*, 9(2), 37–44. <http://repository.untag-sby.ac.id/17599/8/JURNAL.pdf>
- Nugroho, A. W., Hartanto, S., Nugroho, M. A. E., & Himarosa, R. A. (2022). Pengaruh Sudut Kampuh V Tunggal terhadap Sifat Mekanis Sambungan Las SMAW pada Pipa Baja Karbon API 5L X46. *Semesta Teknika*, 25(2), 188–200. <https://doi.org/10.18196/st.v25i2.16896>