



ANALISIS KEKUATAN TARIK SAMBUNGAN LAS KOMBINASI SMAW-GTAW PADA PIPA CARBON STEEL A106 GRADE B

Novan Dwi Prasetyo¹⁾

¹⁾D4 Teknik Mesin, Fakultas Vokasi, Universitas Negeri Surabaya, Surabaya, Indonesia
Email: novandwiprasetyo@gmail.com

Abstract

This study aims to analyze the tensile strength of SMAW-GTAW combination welds on ASTM A106 Grade B carbon steel pipes. This material is widely used in oil and gas pipeline industries because of its good mechanical properties and ability to withstand high pressure and temperature. The research method used was an experimental method with tensile testing using the LLOYD LR150K Tensile Testing Machine. The welding process was carried out using SMAW for the root pass and GTAW for the filler and capping passes in the 6G welding position. The test results showed an average *yield stress* of 385.3 MPa, *ultimate tensile strength* (UTS) of 514.7 MPa, and *fracture strength* of 496.4 MPa. These values are higher than the minimum tensile strength standard of ASTM A106 Grade B, which is 415 MPa. Visual observations also showed that both specimens experienced ductile fracture, indicated by plastic deformation and necking before fracture occurred. Therefore, the SMAW-GTAW combination welding method produced good weld quality and mechanical strength suitable for pressurized piping applications.

Keywords: SMAW-GTAW Welding, ASTM A106 Grade B, Tensile test

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kekuatan tarik sambungan las kombinasi SMAW- GTAW pada pipa *Carbon steel ASTM A106 Grade B*. Material ini banyak digunakan pada industri perpipaan minyak dan gas karena memiliki ketahanan mekanik yang baik terhadap tekanan dan temperatur tinggi. Metode penelitian yang digunakan adalah metode eksperimental dengan pengujian tarik menggunakan Tensile Testing Machine LLOYD LR150K. Proses pengelasan dilakukan menggunakan metode SMAW pada bagian root dan GTAW pada bagian filler serta capping dengan posisi pengelasan 6G. Hasil pengujian menunjukkan nilai rata-rata *yield stress* sebesar 385.3 MPa, *ultimate tensile strength* (UTS) sebesar 514.7 MPa, dan *fracture strength* sebesar 496.4 MPa. Nilai tersebut masih berada di atas standar minimum kekuatan tarik ASTM A106 Grade B sebesar 415 MPa. Hasil pengamatan visual juga menunjukkan bahwa kedua spesimen mengalami patahan ulet (*ductile fracture*) yang ditandai dengan adanya deformasi plastis dan *necking* sebelum patah. Dengan demikian, sambungan las kombinasi SMAW-GTAW dinyatakan memiliki kualitas sambungan dan kekuatan mekanik yang baik untuk aplikasi perpipaan bertekanan.

Kata Kunci: Pengelasan SMAW-GTAW, ASTM A106 Grade B, Uji



PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi di era industri modern telah mendorong peningkatan kebutuhan akan sistem perpipaan yang andal, terutama pada industri minyak dan gas bumi (migas). Sistem perpipaan dalam industri migas berfungsi sebagai sarana transportasi fluida yang umumnya memiliki tekanan dan temperatur tinggi. Oleh karena itu, diperlukan material serta metode penyambungan yang mampu menjamin kekuatan, keamanan, dan keandalan sistem perpipaan selama beroperasi.

Salah satu metode penyambungan yang paling banyak diterapkan dalam industri perpipaan adalah pengelasan. Pengelasan merupakan proses penyambungan dua atau lebih material logam dengan menggunakan energi panas sehingga terbentuk ikatan metalurgi yang menyatu secara permanen. Metode ini dipilih karena mampu menghasilkan sambungan dengan kekuatan yang tinggi dan memiliki tingkat kebocoran yang rendah.

Menurut Batubara dkk. (2023), pengelasan adalah proses penyambungan logam secara lokal dengan memanfaatkan energi panas yang berasal dari sumber listrik maupun pembakaran gas. Sementara itu, Sonawan dan Suratman (2006) menyatakan bahwa pengelasan dilakukan melalui proses pencairan sebagian logam induk dan logam pengisi, yang kemudian menyatu dan membentuk sambungan yang kuat serta permanen setelah mengalami pendinginan. Dengan karakteristik tersebut, pengelasan menjadi metode yang sangat penting dalam mendukung keberhasilan konstruksi dan operasional sistem perpipaan pada industri migas.

Dalam industri migas, terdapat berbagai metode pengelasan yang digunakan sesuai kondisi pekerjaan di lapangan, di antaranya *Shielded Metal Arc Welding* (SMAW) dan *Gas Tungsten Arc Welding* (GTAW). Metode SMAW banyak digunakan karena praktis dan fleksibel untuk berbagai posisi pengelasan, sedangkan GTAW mampu menghasilkan kualitas las yang lebih baik dengan tingkat cacat yang rendah. Pada penelitian ini digunakan kombinasi pengelasan SMAW pada bagian root dan GTAW pada lapisan filler serta capping pada material pipa *carbon steel ASTM A106 Grade B*. Material ASTM A106 Grade B merupakan baja karbon yang banyak digunakan pada sistem perpipaan industri karena memiliki kekuatan mekanik yang baik dan mampu menahan tekanan tinggi. Kombinasi kedua metode pengelasan tersebut diharapkan mampu menghasilkan sambungan las yang kuat dan berkualitas.

Kualitas sambungan hasil pengelasan sangat dipengaruhi oleh parameter pengelasan, jenis elektroda, masukan panas (*heat input*), serta metode pengelasan yang digunakan. Perbedaan metode pengelasan dapat memengaruhi struktur mikro, daerah *Heat Affected Zone* (HAZ), tingkat kekerasan, hingga kekuatan tarik

sambungan las. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa pengelasan GTAW cenderung menghasilkan kualitas sambungan dan kekuatan tarik yang lebih baik dibandingkan metode SMAW karena perlindungan gas inert mampu meminimalkan kontaminasi udara luar pada logam cair. Namun demikian, metode SMAW masih banyak digunakan karena lebih ekonomis dan praktis untuk pekerjaan lapangan. Oleh sebab itu, kombinasi kedua metode tersebut diharapkan mampu menghasilkan sambungan las yang memiliki kualitas tinggi sekaligus efisien dalam proses pengerjaannya

Untuk mengetahui kualitas sambungan hasil pengelasan, diperlukan pengujian material salah satunya adalah uji tarik. Uji tarik merupakan metode pengujian dengan memberikan beban tarik secara bertahap hingga material mengalami patah untuk mengetahui kekuatan maksimum suatu material. Menurut Salindeho dkk. (2013), uji tarik digunakan untuk mengetahui kemampuan material dalam menerima gaya tarik yang bekerja secara berlawanan arah. Selain itu, Mulyadi (2016) menyatakan bahwa hasil pengujian tarik sangat penting dalam bidang rekayasa teknik karena dapat digunakan sebagai dasar dalam menentukan kekuatan dan spesifikasi material. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk menganalisis kekuatan tarik hasil pengelasan kombinasi SMAW-GTAW pada pipa *carbon steel ASTM A106 Grade B* sehingga dapat diketahui kualitas sambungan las yang dihasilkan serta menjadi referensi dalam pemilihan metode pengelasan pada industri migas.

METODE

Pada penelitian ini dilakukan analisis hasil metode pengelasan Kombinasi SMAW -GTAW pada Pipa Carbon Steel ASTM A106 grade B. Metode penelitian yang digunakan pada penelitian ini merupakan metode eksperimental, dimana dilakukan dengan pengujian *Destructive Test* (DT) atau disebut juga dengan pengujian merusak, salah satu contoh dari pengujian merusak ini yang digunakan pada penelitian ini yaitu *Tensile Test* (Uji Tarik). Tempat untuk melakukan penelitian ini dilangsungkan di gedung laboratorium metalurgi, bengkel las, dan inspeksi yang terletak di area PPSDM Migas Cepu yang terletak di Desa Karangboyo Kecamatan Cepu Kabupaten Blora.

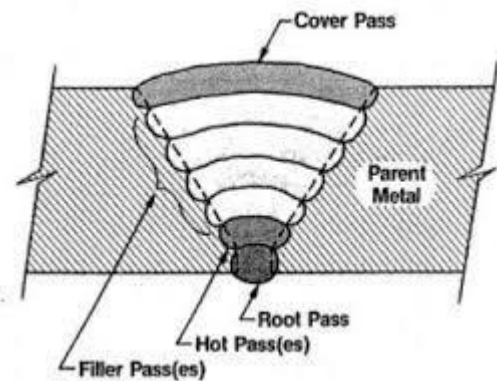
Pengelasan Kombinasi

Pengelasan kombinasi SMAW-GTAW merupakan metode pengelasan yang menggabungkan dua proses pengelasan berbeda untuk memperoleh kualitas sambungan yang lebih baik dan efisiensi pengerjaan yang tinggi. *Shielded Metal Arc Welding* (SMAW) adalah proses pengelasan busur listrik yang menggunakan elektroda terbungkus sebagai penghantar arus sekaligus bahan tambah



las. Metode ini banyak digunakan pada pekerjaan konstruksi dan perpipaan karena memiliki peralatan yang sederhana, mudah diaplikasikan di lapangan, serta mampu digunakan pada berbagai posisi pengelasan (Siswadi dkk., 2024). Sementara itu, *Gas Tungsten Arc Welding* (GTAW) merupakan proses pengelasan yang menggunakan elektroda tungsten tidak terumpun dan gas pelindung inert seperti argon untuk melindungi daerah las dari kontaminasi udara luar sehingga menghasilkan kualitas sambungan yang lebih baik dan stabil (Rantepasang dkk., 2024).

Pada proses pengelasan kombinasi, metode SMAW umumnya digunakan pada bagian root karena memiliki kemampuan penetrasi yang baik dan lebih efisien untuk proses awal penyambungan pipa. Selanjutnya, metode GTAW digunakan pada bagian filler dan capping untuk menghasilkan permukaan las yang lebih halus, rapi, dan memiliki tingkat cacat pengelasan yang rendah. Kombinasi kedua metode ini banyak diterapkan pada industri migas dan perpipaan karena mampu meningkatkan kualitas sambungan serta kekuatan mekanik hasil las. Selain itu, penggunaan kombinasi SMAW-GTAW juga dapat memengaruhi struktur mikro dan sifat mekanik material, terutama pada daerah logam las dan *Heat Affected Zone* (HAZ), sehingga diperlukan pengujian lebih lanjut untuk mengetahui kualitas sambungan yang dihasilkan.



Gambar 1. Lapisan Pengelasan Sumber : (Rudarmel, 1996)

Carbon steel ASTM A106 Grade B

ASTM A106 Grade B merupakan material pipa baja karbon yang banyak digunakan pada sistem Perpipaan dengan kondisi operasi bertemperatur tinggi, seperti industri minyak dan gas, boiler, serta heat exchanger. Material ini dipilih karena memiliki kekuatan mekanik yang baik serta mampu menahan tekanan dan suhu tinggi selama proses operasi berlangsung.

Komposisi kimia ASTM A106 Grade B terdiri dari beberapa unsur utama, di antaranya karbon dengan kadar maksimum 0,30%, mangan sebesar 0,29–1,06%, fosfor maksimum 0,035%, sulfur maksimum 0,035%, dan silikon

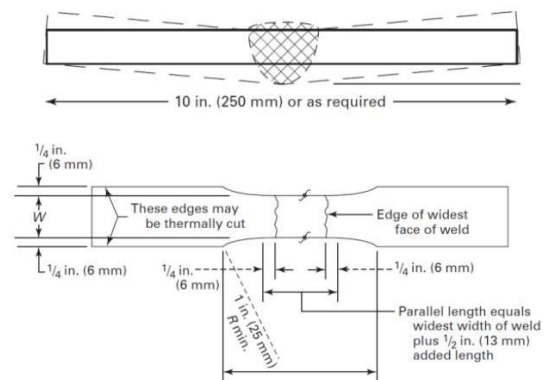
sebesar 0,10–0,35%, serta unsur tambahan lainnya dalam jumlah kecil. Dari segi sifat mekanik, material ini memiliki nilai yield strength minimum sebesar 240 MPa dan *ultimate tensile strength* minimum sebesar 415 MPa. Oleh karena itu, dalam proses fabrikasi pipa bertekanan, pemilihan metode pengelasan dan pengaturan parameter pengelasan harus dilakukan dengan tepat agar kualitas sambungan dan keamanan sistem perpipaan tetap terjaga.

Pembuatan Spesimen

Pembuatan spesimen uji tarik dilakukan berdasarkan standar ASME. Material pipa *Carbon steel ASTM A106 Grade B* dipersiapkan dan dibentuk menjadi spesimen uji tarik sesuai ketentuan ASME Section IX. Setelah proses pembuatan selesai, spesimen dipasang pada mesin uji tarik (tensile testing machine) untuk diberikan pembebanan tarik secara bertahap hingga spesimen mengalami patah.

Pengujian tarik dilakukan untuk mengetahui kemampuan material dalam menahan beban tarik yang diberikan. Dari pengujian tersebut dapat diperoleh beberapa parameter sifat mekanik material, seperti yield strength, tensile strength, ultimate tensile strength, persentase elongation, serta persentase reduction area yang digunakan untuk mengevaluasi kualitas dan kekuatan sambungan material.

Pembuatan spesimen uji tarik mengacu pada QW 462.1(a) Standar ASME BPVC section IX yang ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Spesimen Uji Tarik Sumber : (Rahmatika dkk., 2021)

Uji Tarik (Tensile Test)

Uji tarik merupakan salah satu metode pengujian mekanik yang digunakan untuk mengetahui kemampuan material dalam menahan beban tarik (Callister dan Rethwisch, 2020). Pengujian dilakukan dengan memberikan gaya tarik secara bertahap pada spesimen hingga material mengalami deformasi dan akhirnya patah. Melalui pengujian ini, dapat diketahui karakteristik mekanik suatu material baik sebelum maupun sesudah proses pengelasan.



Beberapa parameter utama yang diperoleh dari pengujian tarik meliputi :

- 1) *yield strength* (σ_y), yaitu tegangan saat material mulai mengalami deformasi plastis
- 2) *ultimate tensile strength* (UTS), yaitu tegangan maksimum yang mampu ditahan material sebelum terjadi necking
- 3) *elongation* (%), yaitu pertambahan panjang material setelah mengalami pembebanan hingga patah.
- 4) modulus elastisitas (E), yaitu perbandingan antara tegangan dan regangan pada daerah elastis material.

Oleh karena itu, uji tarik banyak digunakan untuk mengevaluasi kualitas sambungan las dan mengetahui pengaruh proses pengelasan terhadap kekuatan material.



Gambar 3. Mesin Uji Tarik LLOYD LR150K yang terhubung dengan Komputer

Struktur Mikro pada Daerah Pengelasan

Proses pengelasan dapat menyebabkan perubahan struktur mikro pada material akibat adanya siklus pemanasan dan pendinginan yang terjadi secara tidak merata selama proses pengelasan berlangsung. Perubahan tersebut terjadi pada beberapa zona di sekitar sambungan las yang memiliki karakteristik berbeda-beda, yaitu *Weld Metal* (WM), *Heat Affected Zone* (HAZ), dan Base Metal (BM). Perbedaan struktur mikro pada tiap daerah sangat memengaruhi sifat mekanik sambungan hasil pengelasan.

Weld Metal (WM)

Weld Metal (WM) merupakan daerah logam las yang mengalami pencairan kemudian membeku kembali selama proses pengelasan. Struktur mikro pada daerah ini dipengaruhi oleh jenis elektroda, besar heat input, serta laju pendinginan. Umumnya, struktur mikro pada WM terdiri dari butiran kolumnar dan acicular yang terbentuk akibat proses solidifikasi logam cair.

Heat Affected Zone (HAZ)

Zone (HAZ) adalah daerah yang tidak mengalami pencairan tetapi terkena pengaruh panas pengelasan sehingga terjadi perubahan struktur mikro. Perubahan tersebut dapat memengaruhi sifat mekanik material, seperti menurunnya kekuatan akibat pertumbuhan ukuran butir.

Base Metal (BM)

Base Metal (BM) merupakan bagian material induk yang tidak mengalami pengaruh panas secara signifikan sehingga masih memiliki struktur mikro asli material. Struktur pada BM biasanya digunakan sebagai pembandingan terhadap struktur mikro pada daerah WM dan HAZ.

Kualitas sambungan las dipengaruhi oleh ukuran butir, distribusi fasa, dan jenis struktur mikro yang terbentuk pada daerah las. Pendinginan yang terlalu cepat dapat menghasilkan struktur martensit yang keras tetapi cenderung getas, sedangkan pendinginan yang lebih lambat umumnya menghasilkan struktur ferrite-pearlite yang lebih ulet dan memiliki ketahanan yang lebih baik terhadap retak.

Proses Pembentukan Kampuh Las (*Welding Groove Preparation*)

Persiapan kampuh las merupakan salah satu tahapan penting dalam proses pengelasan, khususnya pada material pipa ASTM A106 Grade B yang memiliki ketebalan cukup besar. Pada penelitian ini digunakan jenis kampuh Single V-Groove karena mampu menghasilkan penetrasi las yang baik serta dapat mengurangi terjadinya distorsi pada sambungan pipa. Jenis kampuh ini juga banyak digunakan pada proses pengelasan perpipaan karena dinilai efektif untuk memperoleh kualitas sambungan yang optimal.

Parameter kampuh seperti sudut kampuh, root face, dan root gap memiliki pengaruh besar terhadap kualitas hasil pengelasan. Kampuh dengan ukuran yang terlalu sempit dapat menyebabkan terjadinya cacat berupa kurangnya penetrasi (*lack of fusion*), sedangkan kampuh yang terlalu lebar dapat meningkatkan kebutuhan logam pengisi dan nilai *heat input*. Oleh karena itu, pengaturan dimensi kampuh perlu dilakukan secara tepat agar kualitas sambungan tetap terjaga, terutama pada posisi pengelasan 6G yang memiliki tingkat kesulitan tinggi karena keterbatasan akses pengelasan. Persiapan kampuh yang sesuai juga dapat membantu menghasilkan sambungan yang lebih homogen dan meminimalkan kemungkinan terjadinya cacat internal yang dapat memengaruhi kekuatan tarik sambungan las.



Faktor yang Mempengaruhi Kekuatan Las Kombinasi SMAW-GTAW

Terdapat beberapa faktor yang dapat memengaruhi kualitas dan kekuatan sambungan pada pengelasan kombinasi SMAW-GTAW, di antaranya sebagai berikut:

Arus Pengelasan (*Current*) Besarnya arus yang digunakan pada proses SMAW maupun GTAW sangat berpengaruh terhadap hasil pengelasan. Arus yang terlalu tinggi dapat menghasilkan penetrasi yang berlebihan serta menimbulkan cacat seperti porositas dan *burn-through*, sedangkan arus yang terlalu rendah dapat menyebabkan penetrasi tidak sempurna.

- 1) Jenis Elektroda dan Filler Metal Pemilihan elektroda dan filler metal yang digunakan pada proses pengelasan kombinasi memengaruhi sifat mekanik sambungan las. Penggunaan material pengisi yang sesuai mampu meningkatkan kekuatan tarik, kekerasan, dan kualitas logam las.
- 2) Kecepatan Pengelasan (*Travel Speed*) Kecepatan pengelasan berpengaruh terhadap besar kecilnya *heat input* yang diterima material. Kecepatan yang terlalu tinggi dapat menyebabkan penetrasi kurang maksimal, sementara kecepatan yang terlalu lambat dapat meningkatkan panas masukan sehingga berpotensi menyebabkan distorsi pada sambungan.
- 3) Posisi Pengelasan (6G) Posisi pengelasan 6G termasuk posisi yang memiliki tingkat kesulitan tinggi karena proses pengelasan dilakukan pada berbagai sudut dan arah. Oleh sebab itu, kemampuan dan keterampilan welder sangat menentukan kualitas hasil sambungan las.
- 4) Jenis Kampuh dan Persiapan Material Jenis kampuh yang digunakan pada pengelasan pipa sangat memengaruhi kualitas penetrasi dan kekuatan sambungan. Kampuh Single V-Groove umumnya digunakan pada pipa berdinding tebal karena mampu menghasilkan sambungan yang lebih baik. Selain itu, kebersihan permukaan material sebelum pengelasan juga penting untuk meminimalkan terjadinya cacat las.

Seluruh faktor tersebut memiliki pengaruh terhadap sifat mekanik sambungan las kombinasi SMAW- GTAW, seperti kekuatan tarik, nilai elongasi, dan karakteristik patahan hasil pengujian.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada pengujian ini, spesimen pipa hasil pengelasan SMAW dan kombinasi SMAW-GTAW diuji menggunakan mesin uji tarik *Tensile Testing Machine* LLOYD LR150K. Spesimen hasil pengelasan terlebih dahulu dipotong dan

dibentuk sesuai dengan standar ASME agar memenuhi ketentuan pengujian tarik. Pada masing-masing metode pengelasan diambil dua sampel pengujian yang kemudian digunakan untuk dianalisis dan dibandingkan berdasarkan nilai rata-ratanya. Dimensi spesimen uji tarik yang digunakan telah disesuaikan dengan ukuran minimum sesuai standar yang berlaku.

Selanjutnya, spesimen dipasang pada grip mesin uji tarik dan dikencangkan hingga terpasang dengan baik agar tidak terjadi pergeseran selama proses pengujian berlangsung. Setelah itu, data dimensi spesimen dimasukkan ke dalam komputer yang terhubung dengan *tensile testing machine* menggunakan software *NexygenPlus*. Parameter yang dimasukkan meliputi *gauge length* (G), *width* (W), dan *thickness* (T) sebagai data awal dalam proses pengujian tarik.

Data Spesimen

Berikut ini merupakan data spesimen yg dipakai :

Material : Pipa *Carbon steel ASTM A106 Grade B*

Ketebalan : 7,4 mm

Diameter : 201 mm

Proses Pengelasan: Kombinasi (*SMAW+GTAW*) Jenis Pengelasan : Manual

Jenis Elektroda : ER70S-G

Jenis Flux : *Shielding Gas Argon (GTAW)*

Posisi Pengelasan: 6G Kampuh : Single V

Jenis Arus : Arus Searah (DC)

Besar Arus : 70-110 A

Berdasarkan hasil pengujian tarik pada sambungan las kombinasi SMAW-GTAW, spesimen pertama menunjukkan nilai *yield stress* sebesar 383.2 MPa, *ultimate tensile stress* (UTS) sebesar 509.2 MPa, dan *fracture strength* sebesar 495.0 MPa. Sementara itu, spesimen kedua menghasilkan nilai *yield stress* sebesar 387.5 MPa, *ultimate tensile stress* (UTS) sebesar 520.2 MPa, serta *fracture strength* sebesar 497.8 MPa. Dari hasil pengujian kedua spesimen tersebut kemudian diperoleh nilai rata-rata *yield stress* sebesar 385.3 MPa, nilai *ultimate tensile stress* (UTS) sebesar 514.7 MPa, dan *fracture strength* sebesar 496.4 Mpa



Gambar 4. Spesimen Uji



Hasil pengujian tarik

Berikut merupakan tabel ukuran spesimen hasil pengujian tarik sampel metode pengelasan kombinasi SMAW-GTAW :

Tabel 1.Ukuran Spesimen uji Tarik

Meto de	Ukuran (mm)								
	G0	Gf	W0	Wf	T0	Tf	L	A	C
Las									
KOM 1	60.	73.	18.	18.	7.1	5.1	20	54.	31.
	95	40	35	55	0	5	2	70	00
KOM 2	59.	69.	18.	19.	7.1	5.2	20	52.	31.
	35	65	20	95	5	5	2	70	75
Rata-	60.	71.	18.	19.	7.1	5.2	20	53.	31.
Rata	15	53	28	25	3		2	70	38

Apabila hasil pengujian tersebut dibandingkan dengan spesifikasi minimum material *Carbon steel ASTM A106 Grade B* yang memiliki nilai *ultimate tensile strength* sebesar 415 MPa, maka nilai UTS hasil pengujian sambungan las kombinasi SMAW-GTAW masih berada di atas batas minimum kekuatan material induk. Dengan demikian, dapat dinyatakan bahwa sambungan las kombinasi SMAW-GTAW memiliki kemampuan menahan beban tarik yang baik serta memenuhi persyaratan kekuatan mekanik sesuai standar material yang digunakan.

Pertambahan panjang spesimen setelah pengujian juga bisa dilihat dari tabel 1 yang bisa ditarik menggunakan rumus di bawah ini:

$$\epsilon = \frac{71.53 - 60.15}{60.15} \times 100\% = 18.92\%$$

Keterangan:

- G0 = Gauge length awal
- Gf = Gauge length akhir
- W0 = Lebar Spesimen awal
- Wf = Lebar Spesimen akhir
- T0 = Ketebalan spesimen awal
- Tf = Ketebalan spesimen akhir
- L = Panjang spesimen
- A = Panjang reduction section
- C = Lebar grip

Tabel 2. Hasil Pengujian Uji Tarik

Metode Pengelasan	MPa		
	σy	UTS	Fracture
KOM 1	383.2	509.2	495.0
KOM 2	387.5	520.2	497.8
Rata-Rata	385.3	514.7	496.4

Keterangan :

- σy = Yield stress / Titik Luluh
- UTS = Ultimate Tensile Stress / Titik Maksimum sebelum putus

Fracture = Titik Patah

Analisis Pola Patahan Spesimen

Berdasarkan hasil pengamatan visual pada spesimen las kombinasi SMAW-GTAW setelah dilakukan uji tarik, kedua spesimen menunjukkan pola patahan yang bersifat ulet (*ductile fracture*). Hal tersebut dapat dilihat dari adanya deformasi plastis yang cukup besar sebelum spesimen mengalami patah, terutama pada bagian penampang yang mengalami penyempitan (*necking*). Pada spesimen KOM 1 maupun KOM 2 terlihat bahwa patahan terjadi setelah material mengalami perpanjangan akibat pembebanan tarik secara kontinu. Ciri tersebut

menunjukkan bahwa material masih memiliki kemampuan deformasi yang baik sebelum mengalami kegagalan.

Hasil ini juga didukung oleh data pengujian tarik, dimana sambungan las kombinasi SMAW-GTAW memiliki nilai rata-rata *yield stress* sebesar 385.3 MPa, *ultimate tensile strength* (UTS) sebesar 514.7 MPa, dan *fracture strength* sebesar 496.4 MPa. Nilai UTS yang cukup tinggi menunjukkan bahwa sambungan las mampu menahan beban tarik maksimum sebelum terjadi kegagalan material. Selain itu, nilai *fracture strength* yang masih tinggi mengindikasikan bahwa spesimen mengalami proses deformasi terlebih dahulu sebelum patah, sehingga karakteristik patahan getas (*brittle fracture*) tidak terlihat pada hasil pengujian.

Pola patahan ulet pada sambungan las kombinasi SMAW-GTAW menunjukkan bahwa proses pengelasan menghasilkan kualitas sambungan yang baik serta mampu mempertahankan sifat mekanik material. Tidak ditemukannya indikasi patahan getas juga menunjukkan bahwa proses pengelasan tidak menimbulkan cacat serius seperti porositas berlebih, retak las (*crack*), maupun *lack of fusion* yang dapat menurunkan kekuatan sambungan. Dengan demikian, hasil pengamatan visual dan pengujian tarik menunjukkan bahwa sambungan las kombinasi SMAW-GTAW pada pipa *Carbon steel ASTM A106 Grade B* masih memenuhi karakteristik mekanik yang baik untuk aplikasi perpipaan bertekanan.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian tarik yang telah dilakukan pada sambungan las kombinasi SMAW-GTAW pada pipa *Carbon steel ASTM A106 Grade B*, diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Spesimen KOM 1 menghasilkan nilai *yield stress* sebesar 383.2 MPa, *ultimate tensile strength* (UTS) sebesar 509.2 MPa, dan *fracture strength* sebesar 495.0 MPa.



2. Spesimen KOM 2 menghasilkan nilai *yield stress* sebesar 387.5 MPa, *ultimate tensile strength* (UTS) sebesar 520.2 MPa, dan *fracture strength* sebesar 497.8 MPa.
3. Berdasarkan hasil rata-rata pengujian tarik, sambungan las kombinasi SMAW-GTAW memiliki nilai *yield stress* sebesar 385.3 MPa, *ultimate tensile strength* (UTS) sebesar 514.7 MPa, dan *fracture strength* sebesar 496.4 MPa.
4. Hasil pengamatan visual pada spesimen setelah pengujian tarik menunjukkan bahwa kedua spesimen mengalami patahan ulet (ductile fracture) yang ditandai dengan adanya deformasi plastis dan penyempitan penampang (necking) sebelum material mengalami patah.

Nilai *ultimate tensile strength* (UTS) hasil pengujian masih berada di atas standar minimum kekuatan tarik material *Carbon steel ASTM A106 Grade B* sebesar 415 MPa, sehingga sambungan las kombinasi SMAW-GTAW dinyatakan mampu memenuhi persyaratan kekuatan mekanik material induk.

DAFTAR PUSTAKA

- Batubara, N. H., dkk. (2023). Analisis pengaruh parameter pengelasan terhadap kekuatan sambungan las pada material baja karbon. *Jurnal Teknik Mesin*, 11(2), 45–52.
- Callister, W. D., & Rethwisch, D. G. (2020). *Materials science and engineering: An introduction* (10th ed.). John Wiley & Sons.
- Mulyadi, M. (2016). Analisis pengujian tarik terhadap kekuatan material logam. *Jurnal Teknik Industri*, 5(1), 21–27.
- Rahmatika, A., Sutarto, E., & Arifin, A. C. (2021). Pengujian merusak pada kualifikasi prosedur las plat baja karbon SA-36 dengan proses pengelasan SMAW berdasarkan standar ASME Section IX. *JVTI: Jurnal Vokasi Teknologi Industri*, 3(1), 24–30.
- Rantepasang, M., dkk. (2024). Analisis pengaruh pengelasan GTAW terhadap kualitas sambungan las pada material baja karbon. *Paulus Mechanical Engineering Journal*, 6(1), 55–63.
- Rudarmel, D. K. (1996). *Pipefitters blue book*. MTI Publications.
- Salindeho, R. D., dkk. (2013). Pengaruh variasi arus terhadap kekuatan tarik dan struktur mikro pada pengelasan baja karbon rendah. *Jurnal Teknik Mesin*, 2(3), 12–18.
- Siswadi, dkk. (2024). Analisis pengaruh metode SMAW terhadap kekuatan sambungan las pada konstruksi baja. *Vocatech: Vocational Education and Technology Journal*, 5(1), 30–38.
- Sonawan, H., & Suratman, R. (2006). *Pengantar untuk memahami proses pengelasan logam*. Alfabeta.