

Studi Eksperimental Pengaruh Proses *Preheating* pada Sambungan Las Material A36 terhadap Karakteristik Mekanik: Evaluasi Tensile, Bending, dan Struktur Makro

Fazri Dwi Putra Novian¹, Muhammad Irsyad Saihilmi. 1* Benny Haddi Irawan.2*

* Politeknik Negeri Batam

Program Studi Teknologi Rekayasa Konstruksi Perkapalan

Jl. Ahmad Yani, Batam Centre, Batam 29461, Indonesia

¹E-mail: fazrydwi13@gmail.com

Abstrak

Dalam industri migas, sering terjadi kesalahan dalam proses pengelasan sehingga perlu dilakukan *replating*. Pemanasan awal (*preheat*) merupakan metode perlakuan panas yang dilakukan guna mengurangi perbedaan panas yang terjadi antara daerah las dan daerah sekitarnya. Sebelum proses pengelasan dilakukan guna menghindari cacat las. Karena panas yang timbul pada saat pengelasan, perlu diperlakukan *preheat* pada material. Metode penelitian yang digunakan adalah penelitian eksperimen, dengan bertujuan dari eksperimen ini untuk mengetahui pengaruh dilakukannya pemanasan awal dalam pengelasan ulang dan sifat mekanis pada logam las akibat pengelasan ulang. eksperimen ini dilakukan pengelasan ulang sebanyak dua kali dengan perlakuan pemanasan awal. Suhu pemanasan awal minimum sebesar 10 °C dan suhu interpaas minimum sebesar 240°C. Proses pengelasan yang digunakan untuk pengelasan baja karbon ASTM A36 adalah *flux cored arc welding* (SMAW). Selanjutnya dilakukan eksperimen yang mencakup : Uji *Tensile*, Uji *Bending*, *Strukture makro*. Pengelasan dilakukan dengan metode SMAW pada bahan baja A36 dengan *filler* E7016 dan E7018 dengan arus 94,1 A dengan Model *groove* menggunakan *bevel* dengan sudut *bevel* 30°. Manfaat pada penelitian eksperimen ini bisa mendukung pembuatan atau revisi *Procedure qualification record* (PQR) yang sesuai dengan standar kualitas dan keamanan industri.

Kata Kunci : Pemanasan awal, SMAW, ASTM A36, uji tarik, uji tekuk, struktur makro

Abstract

In the oil and gas industry, there are often errors in the welding process that require replating. Preheat is a method of heat treatment carried out to reduce the heat difference that occurs between the weld area and the surrounding area before the welding process is carried out to avoid weld defects. Because of the heat generated during welding, it is necessary to preheat the material. The research method used is experimental research, with the aim of this experiment to determine the effect of preheating in re-welding and mechanical properties of weld metal due to re-welding. This experiment was conducted twice with preheating treatment. The minimum preheating temperature was 10°C and the minimum interpaas temperature was 240°C. The welding process used for welding ASTM A36 carbon steel is flux cored arc welding (SMAW). Furthermore, experiments were carried out which included: Tensile test, Bending test, Macro structure. Welding is carried out by the SMAW method on A36 steel material with E7016 and E7018 fillers with a current of 94.1 A with a groove model using a bevel with a bevel angle of 30°. The benefits of this experimental research can support the creation or revision of Procedure qualification records (PQR) in accordance with industrial quality and safety standards.

Keywords : Preheating, SMAW, ASTM A36, Tensile test, Bending Test, Macrostructure

1 Pendahuluan

1.1 Latar Belakang

Dalam industri manufaktur dan industri pada umumnya, proses pengelasan sangat krusial untuk memastikan bahwa sambungan las memenuhi standar kekuatan dan ketangguhan yang diharapkan.[1] Oleh karena itu, penentuan material dengan kualitas yang baik menjadi prioritas dalam suatu industri. Salah satu material yang umum digunakan dalam proses pengelasan di dunia industri adalah plat baja ASTM A36. Plat baja ini termasuk dalam golongan baja karbon rendah yang memiliki kekuatan mekanik yang baik. Selain itu, baja jenis ini juga memiliki sifat yang mudah dibentuk.[2]

Jenis pengelasan yang paling umum digunakan di lingkungan industri adalah teknik pengelasan busur listrik. Proses ini merupakan metode penyambungan logam yang memanfaatkan sumber panas dari energi listrik. Metode ini dikenal sebagai *Shield Metal Arc Welding (SMAW)*, yaitu proses pengelasan di mana sumber panas yang diperoleh dari energi listrik untuk menyambung dua komponen atau lebih yang berbahan logam, dengan cara mengarahkan nyala busur listrik ke permukaan benda kerja. Bagian yang terkena busur listrik tersebut dapat mencair, bersamaan dengan itu, elektroda yang menghasilkan busur listrik akan mencair pada titik awal dan secara bertahap menipis hingga habis[3]. Mesin las SMAW diklasifikasikan menjadi tiga jenis berdasarkan arus listriknya: mesin las arus searah (*Direct Current/DC*), mesin las arus bolak-balik (*Alternating Current/AC*), dan mesin las arus ganda yang mampu beroperasi baik dengan arus searah maupun arus bolak-balik. Khusus untuk mesin las arus DC, penggunaannya dapat dilakukan dengan dua metode polaritas, yaitu polaritas lurus dan polaritas terbalik. Mesin las DC dengan polaritas lurus (DCEN) ideal untuk memanaskan bahan induk dengan titik lebur tinggi dan kapasitas besar. Dalam pengaturan ini, pemegang elektroda dihubungkan ke kutub *negative*, sementara induk logam dihubungkan ke kutub positif.[4] Dalam praktik di lapangan, ditemukan kasus dimana material tidak diberikan perlakuan *preheat*, padahal material tersebut memiliki jenis logam yang berbeda-beda untuk memerlukan suhu *preheat* tertentu. Oleh karena itu pentingnya *preheat* terhadap suatu material pada sebelum melakukan pengelasan, guna menghindari potensi cacat dan memastikan kualitas sambungan las yang optimal.

Dalam proses pengelasan, seringkali tanpa disadari akan muncul tegangan sisa pada struktur hasil las. Tegangan sisa yang terlalu tinggi bisa menyebabkan deformasi permanen, bahkan memicu terjadinya retak pada sambungan las. Kondisi ini umumnya terjadi karena proses pengelasan dilakukan tanpa melalui tahap pemanasan awal (*preheating*) terlebih dahulu. *Preheat* menurut *American Welding Society (AWS)*, *preheat* didefinisikan sebagai proses pemberian panas pada logam yang akan dilas dengan tujuan untuk mencapai dan mempertahankan suhu *preheat*. *Temperature preheat* adalah suhu logam dasar di sekitar area yang akan dilas sebelum proses pengelasan dimulai[5] *Preheat* harus dilakukan tanpa merusak permukaan logam pada area yang akan dilas. Terdapat beberapa alasan penggunaan pemanasan awal, yaitu: memperlambat laju pendinginan pada logam las dan logam induk, menghasilkan struktur metalurgi yang lebih ulet, serta meningkatkan ketahanan terhadap retak. Laju pendinginan yang lambat memberikan waktu bagi *hydrogen* untuk berdifusi keluar dari logam tanpa merusaknya, sehingga dapat mengurangi kemungkinan terjadinya cacat las.[6] Maka dari itu tujuan dari Penelitian untuk mengetahui pengaruh proses *preheat* dan *ambien temperature* terhadap karakteristik mekanik sambungan las pada material ASTM A36, melalui pengujian kekuatan Tarik (*Tensile*), ketahanan lentur (*bending*) dan observasi struktur makro hasil pengelasan. Fokus Penelitian ini hanya pada jenis material ASTM A36, dengan ukuran 300 x 140 x 25 (4 EA),

Penelitian pertama oleh M. Reza Nugraha dari Universitas Sriwijaya (2021). Membahas pengaruh *preheat* 500°C pada pengelasan *dissimilar* antara baja ASTM A36 dan A6 menggunakan metode SMAW. Hasil uji menunjukkan bahwa *preheating* memperkuat struktur las dengan terbentuknya *martensit*, meningkatkan kekerasan hingga 202 BHN pada daerah las, dan mengurangi cacat seperti *undercut*. Namun, nilai kekerasan terendah ditemukan pada daerah logam induk ASTM A36 tanpa *preheat* (145 BHN). Dari uji bending, material A36 menunjukkan kekuatan paling tinggi dibandingkan daerah las *dissimilar*, mengindikasikan sifat lebih ulet pada logam induk.[7]

Penelitian kedua oleh Achmad Rifaldi dari Universitas Riau Kepulauan (2021). Menggunakan ASTM A36 dengan variasi suhu *preheat* 0°C hingga 300°C. Hasil pengujian menunjukkan *tensile strength* tertinggi dicapai pada suhu 200°C (458 N/mm²), sedangkan kekerasan maksimum terjadi pada 300°C dengan nilai 147 VHN (*base metal*), 178 VHN (HAZ), dan 185 VHN (*weld metal*). Hal ini menandakan bahwa suhu *preheat* mempengaruhi sifat mekanik secara berbeda, di mana *tensile* optimal terjadi pada suhu sedang, sementara kekerasan meningkat seiring kenaikan suhu.[8]

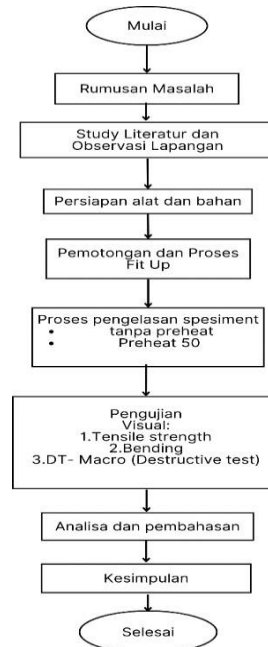
Selanjutnya, penelitian oleh Sudirman dan Hari Subiyanto dari ITS (2023), menguji material API 2W Grade 50 dengan posisi pengelasan 3G dan *preheat* 40°C hingga 90°C. Kenaikan suhu *preheat* secara signifikan meningkatkan kekuatan tarik dari 494 MPa menjadi 653,72 MPa. Kekerasan tertinggi tercatat di daerah HAZ pada suhu 90°C. Penelitian ini juga menekankan pentingnya pendinginan lambat pasca-las untuk mencegah retakan dan meningkatkan kekuatan fusi logam. Hasil ini sangat relevan dalam pengelasan struktur *offshore* seperti *topside platform*. [9]

Penelitian lain oleh Nurriansyah dkk. (2022) menggunakan baja AISI 1045 dan pengelasan GMAW, menunjukkan bahwa kombinasi suhu *preheat* 320°C dan *postheat* 650°C menghasilkan kekerasan tertinggi yaitu 209 HV pada daerah HAZ. Selain itu, struktur *mikro* yang terbentuk di daerah lasan adalah fraksi fasa *ferrite* dan *pearlite*. Luas butir *ferrite* lebih besar pada daerah *weld metal* dibandingkan HAZ dan *base metal*, menandakan bahwa laju pendinginan yang dikendalikan oleh *preheat* dan *postheat* dapat memengaruhi ukuran dan distribusi struktur *mikro* secara signifikan.[10]

Penelitian Rifki Arga Irfansyah dari ITS, (2022) meneliti pengaruh suhu *preheat* 0°C, 100°C, dan 200°C pada pengelasan baja ASTM A36 di atas permukaan air dengan metode SMAW. Hasil menunjukkan bahwa *preheating* mampu meningkatkan *yield strength* secara signifikan, dari 305 MPa (tanpa *preheat*) menjadi 453 MPa (pada 200°C). *Ultimate tensile strength* (UTS) juga meningkat, meskipun kenaikannya tidak terlalu drastis. Selain itu, kekerasan di daerah HAZ dan *weld metal* justru menurun seiring peningkatan suhu *preheat*, menunjukkan struktur logam yang lebih lunak namun lebih ulet.[11]

2. Metodologi Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode kuantitatif dan dalam kategori eksperimental karena secara penelitian langsung melakukan perlakuan (*preheat*) terhadap sambungan las material A36 dan kemudian mengamati pengaruhnya terhadap sifat mekanik dan struktur *makro*. Dengan sebagai acuan ASME SEC IX dengan proses SMAW dan pada posisi pengelasan 1G, pada *base metal* ASTM A36 300 x 140 x 25 (4pcs) Observasi langsung untuk mengetahui pengaruh yang ditimbulkan dari *ambien temperature* dan *preheat* 50 °C sebagai landasan penelitian ini.



Gambar 1 Flow Chart Diagram

2.1 Rumusan Masalah

Pada tahapan rumusan masalah ini, fokus analisis utama yang dilakukan adalah untuk mengetahui apakah terdapat pengaruh yang signifikan antara perbedaan suhu pemanasan awal (*preheat*) dan suhu lingkungan (*ambient temperature*) terhadap sifat mekanik dari suatu material, serta terhadap jenis dan jumlah cacat las yang bisa timbul setelah proses pengelasan.

1. Bagaimana pengaruh *preheat* terhadap kekuatan tarik (*tensile strength*) sambungan las pada material A36?
2. Bagaimana pengaruh *preheat* terhadap kemampuan lentur (*bending*) sambungan las?
3. Apa pengaruh *preheat* terhadap struktur *makro* sambungan las pada material A36?

2.3 Studi Literature

Studi literature dilakukan untuk mempelajari dan memahami pentingnya pengaruh terhadap suatu material pada perilaku *preheat* guna menghindari rentan terhadap cacat las dan kegagalan pada suatu pengelasan. menunjukkan bahwa *preheat* yang optimal dapat meningkatkan nilai *tensile strength* dan elongasi sambungan las pada material A36.Referensi-referensi untuk mengerjakan penelitian ini didapat dari buku, jurnal ilmiah, paper, tugas akhir sebelumnya yang masih berkaitan,

2.4 Persiapan Alat Dan Bahan

2.4.1 Material Carbon Steel A36

Menentukan material baja ASTM A36 sebagai persiapan penelitian yang akan dilakukan. Plat baja yang di las memiliki ketebalan 25 mm. dipotong dengan ukuran 300 x 140 x 25 Sebelum proses pengelasan dilakukan, terlebih

dahulu melakukan tahapan persiapan material untuk sambungan las dengan metode SMAW. Setelah dilakukan pemotongan material, maka material yang telah di potong *dibevel* dengan menggunakan gerinda dengan sudut 60°



Product	Shapes ^a	Plates > 15-in. [380 mm] Width ^b				Bars, Plates ≤ 15-in. [380 mm] Width ^b				
		All	To ¼ [20] incl	Over ¼ to 1½ [30 to 40] incl	Over 1½ to 2½ [40 to 65] incl	Over 2½ to 4 [65 to 100] incl	Over 4 [100]	To ¼ [20] incl	Over ¼ to 1½ [30 to 40] incl	Over 1½ to 4 [65 to 100] incl
Carbon, max, %	0.26	0.25	0.25	0.26	0.27	0.29	0.26	0.27	0.28	0.29
Manganese, %	—	—	0.80–1.20	0.80–1.20	0.85–1.20	0.85–1.20	—	0.60–0.90	0.60–0.90	0.60–0.90
Phosphorus, max, %	0.04	0.030	0.030	0.030	0.030	0.030	0.04	0.04	0.04	0.04
Sulfur, max, %	0.05	0.030	0.030	0.030	0.030	0.030	0.05	0.05	0.05	0.05
Silicon, %	0.40 max	0.40 max	0.40 max	0.15–0.40	0.15–0.40	0.15–0.40	0.40 max	0.40 max	0.40 max	0.40 max
Copper, min, % when req. per steel is specified	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20

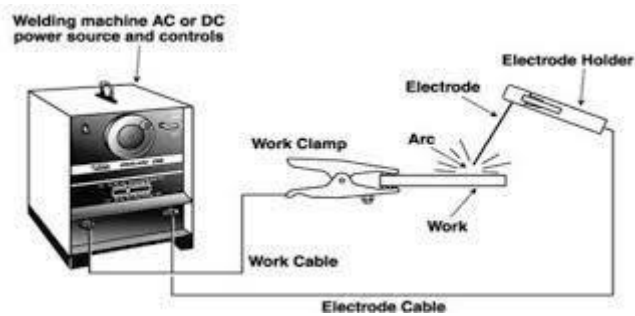
^a Manganese content of 0.85–1.1%
^b For each reduction of 0.01 per cent permitted, up to the maximum of 0.15–0.40% is required for shapes with flange thickness over 3 in. [75 mm] specified carbon maximum, an increase of 0.06 percentage point manganese above the specified maximum will

CHEMICAL COMPOSITION
ASME SEC II PART A, SA-36/SA-36M, PAGE 130

Gambar 2. Material A36 dan Chemical composition

2.4.2 Mesin Welding SMAW

Untuk tahap pengelasan menggunakan mesin welding SMAW (Shield Metal Arc Welding), yang memiliki rentang arus pengelasan antara 60 – 200 Ampere. ditampilkan pada gambar 3



Gambar 3. Mesin SMAW

2.4.3 Kawat Las

Alat yang berbentuk kawat yang digunakan dalam proses pengelasan untuk menyambungkan dua bagian logam. Kawat las dapat terdiri dari berbagai jenis logam dan panduan, kawat ini dilelehkan menggunakan sumber panas dari alat las sehingga dapat mengisi celah sambungan dan menghasilkan ikatan yang kuat antar logam. Dan penelitian ini menggunakan kawat las E7016-1, 2.6MM, KOBELCO, LB 52U dan E7018, 3.2MM, KOBELCO, LB 7018-1 dengan kedua kawat mengikuti standar ASME *Specification SFA-5.1*

OTHERS ASME Section II, Part C, SFA-5.1: CS Electrodes for SMAW

Class designations ^{(b), (c)}	Type of covering	Welding position	Type of current
10	High cellulose sodium	F, V, OH, H	DCEP
11	High cellulose potassium	F, V, OH, H	AC or DCEP
12	High titania sodium	F, V, OH, H	AC or DCEN
13	Iron oxide titania potassium	F, V, OH, H	AC, DCEP, or DCEN
14	Iron powder, titania	F, V, OH, H	AC, DCEP, or R DCEN
15	Low-hydrogen sodium	F, V, OH, H	DCEP
16	Low-hydrogen potassium	F, V, OH, H	AC or DCEP
18	Low-hydrogen potassium, iron powder	F, V, OH, H	AC or DCEP
18M	Low-hydrogen iron powder	F, V, OH, H	DCEP
19	Iron oxide titania potassium	F, V, OH, H	AC, DCEP, or DCEN
20	High iron oxide	H-fillet	AC or DCEN
22	High iron oxide	F, H	AC, DCEP, or DCEN
24	Iron powder, titania	H-fillet, F	AC, DCEP, or DCEN

Gambar 4. Aturan Kawat Las Yang Dipakai

2.4.4 Burn torch

Alat yang digunakan untuk menghasilkan nyala api dengan tujuan memotong, memanaskan, atau mengelas logam, dengan menggunakan bahan bakar gas seperti *asetilena*, *propane* atau *butane* yang dicampur dengan *oksigen*.



Gambar 5. Penggunaan Burn torch



Gambar 6. Pengukuran Jarak alat dan base metal

Pada gambar 5 menunjukkan pemanasan awal dengan penggunaan alat *burn torch* pada material memakan waktu 1 menit dan pada gambar 6 menjelaskan jarak alat *burn torch* pada material berjarak 40 mm.



Gambar 7. Aturan Oksigen Yang dipakai pada alat Burn torch

Pada gambar 7 menjelaskan menjelaskan tekanan kerja untuk *burn torch* oksigen yang dipakai *Manometer* tekanan isi 90bar dan pada *manometer* tekanan kerja diatur pada tekanan 1,5bar merupakan proses pemanasan yang umum digunakan.

2.4.5 Thermocouple

Alat yang digunakan untuk memantau atau mencatat data suhu dengan andal, istilah lain *thermocouple* adalah sensor yang mengukur suhu.



Gambar 8. Penggunaan *thermocouple* pada material *non preheat*

Pada gambar 8 menjelaskan Penggunaan alat *thermocouple* pada material *non preheat* dengan mendapatkan masing masing hasil 35,2 °C pada material 1 dan 35,4 °C pada material 2



Gambar 9. Penggunaan *thermocouple* pada material *preheat*

Pada gambar 9 menjelaskan Penggunaan alat *thermocouple* pada material *non preheat* dengan mendapatkan masing masing hasil 51,9°C pada material 1 dan 50,7°C pada material 2

2.4.6 Pemotongan dan *fit up* spesimen

Pemotongan dan *fit up* merupakan tahap awal dalam persiapan spesimen sebelum dilakukan proses pengelasan. Material yang digunakan dalam penelitian ini adalah baja karbon rendah tipe A36, Setelah proses pemotongan, tahap *fit up* dilakukan dengan menyusun dua pelat A36 dalam posisi *butt joint* (sambungan lurus) menggunakan jig atau alat bantu penjepit untuk memastikan keselarasan (*alignment*) yang baik. Jarak *root gap* dan sudut kampuh disesuaikan dengan spesifikasi *Welding Procedure Specification* (WPS), dengan memperhatikan celah akar, permukaan sambungan, dan ketegakan sudut untuk memastikan penetrasi las yang optimal dan menghindari cacat seperti *lack of fusion* atau *undercut*.



Gambar 10. Lebar Material



Gambar 11. Panjang Material

Pada gambar 10 menjelaskan ukuran lebar setiap material *preheat* dan material *non preheat* 140mm dan pada gambar 11 menjelaskan ukuran panjang setiap material *preheat* dan material *non preheat* 300 mm diukur dengan menggunakan meteran.

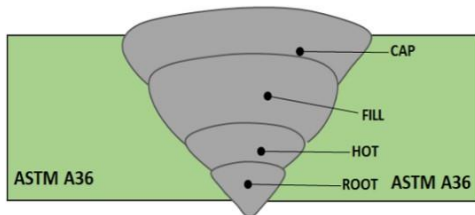


Gambar 12. Material 4 Spesimen

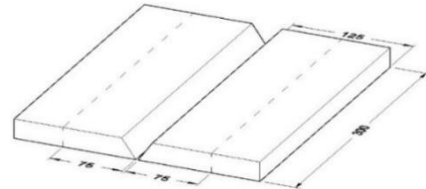
Pada gambar 12 menjelaskan peletakan material dengan 4 spesimen *preheat* dan *non preheat* dengan menggunakan jig sebagai alat bantu menjepit memastikan kelarasan yang baik.

2.4.7 Proses Pengelasan Spesimen

Sebelum melakukan proses pengelasan pastikan material telah dipanaskan (*preheat*). Proses *preheat* dilakukan dengan *gas oxy-asetilen (Oxy-Acetylene)* menggunakan *burn torch*. dengan jarak 50 sampai 75 mm dari sudut *bevel*, dengan parameter sebagai acuan dengan perbedaan *ambien temperature* 30°C dan *preheat* 50°C. Proses *preheat* dimulai dengan memberikan panas pada daerah yang akan di las secara merata sampai suhu yang diujikan. dan untuk mengukur suhu pada proses *preheat* yaitu dengan menggunakan alat *thermocouple*. Pengelasan *specimen* dilakukan pada material baja ASTM A36 dengan menggunakan metode SMAW (*Shield Metal Arc Welding*). Sebelum proses pengelasan, *specimen* dipersiapkan dengan membersihkan permukaan sambungan dari kotoran dan karat untuk memastikan hasil las yang optimal.



Gambar 13. Jarak Root Weld, Fil and Cap



Gambar 14. Base Metal Jarak Preheat

Pada gambar 13 menjelaskan urutan dan struktur pengelasan bertingkat pada sambungan pelat baja ASTM A36, dimulai dari akar (*root*), *hot pass*, *fill*, hingga *cap*. Setiap lapisan memiliki fungsi penting untuk menjamin kekuatan sambungan las dan kualitas hasil akhir. Berikutnya pada gambar 14 rencana penyambungan dua pelat logam dengan jenis *single bevel butt joint*. dan jarak setiap *specimen* pada material yang diperlakukan *preheat* 75mm.

3. Analisa Data dan Pembahasan

Penelitian ini merupakan tahapan penting untuk menafsirkan dan mengevaluasi hasil pengujian yang telah dilakukan terhadap sambungan las material A36 dengan perlakuan *preheat*. Pada bagian ini, data-data hasil uji seperti kekuatan tarik (*tensile*), kekuatan lentur (*bending*), dan struktur *makro* sambungan las akan dianalisis secara sistematis untuk memahami.

3.1 Parameter Pengelasan

Pada Penelitian ini, hasil pengelasan dipengaruhi oleh beberapa parameter. Seperti material *spesification* yaitu ASTM A36 dengan tebal 25 mm dengan *filler metal/kawatlas Classification* E7106 & E7018 dan *Diameter filler* 3,2mm dengan posisi pengelasan 1G dan Polaritas DCEN&DCEP dalam dunia teknik polaritas sangat menentukan panas, penetrasi dan kualitas sambungan las. Penentuan parameter ini sesuai dengan standar yang ada pada table 3.1

Tabel 3.1
Material dan Elektroda

NAMA	KETERANGAN
Material <i>Spesification</i>	ASTM A36
Tebal	25 mm
ASME <i>Classification</i>	E7016 & E7018
<i>Filler Diameter</i>	3,2 mm
Posisi Pengelasan	1G
Polaritas	DCEN & DCEP

Tabel 3.2
Data Parameter Pengelasan

PARAMETER PENGELASAN	
<i>Ampere (A)</i>	80-130
<i>Voltage (V)</i>	22-26
<i>Travel Speed (mm/s)</i>	45-48
<i>Heat Input</i>	1,5-2,1

Pada Tabel 3.2 Menjelaskan Pemakaian kuat arus listrik (*Ampere A*) dalam proses pengelasan, tegangan listrik *Voltage (V)* selama pengelasan, kecepatan pergerakan *elektroda* selama proses pengelasan (*Travel Speed*), Jumlah panas yang diterapkan ke material per panjang satuan (*Heat Input*). Parameter ini penting untuk mengontrol kualitas sambungan las dan mecegah cacat las pada material.

3.2 Data Hasil Pengujian

3.2.1 Data visual

Pada gambar 15 menjelaskan material 1 *preheat* 50°C dilakukan pemanasan awal selama 1 menit pada *start* 16:35 hingga 16:36 dan pada material 2 *preheat* 50 °C dilakukan pemanasan awal selama 1 menit juga pada *start* 16:30 hingga 16:31 dan pada material 3 dan material 4 tanpa perlakuan *preheat*. Secara visual bagus dari cacat las akan tetapi pada dalam material belum diketahui adanya cacat las



Gambar 15. 4 Spesimen Material

Figure QW-463.1(b)
Plates — 3/4 in. (19 mm) and Over Thickness and Alternate From 3/8 in. (10 mm) but Less Than 3/4 in. (19 mm) Thickness Procedure Qualification

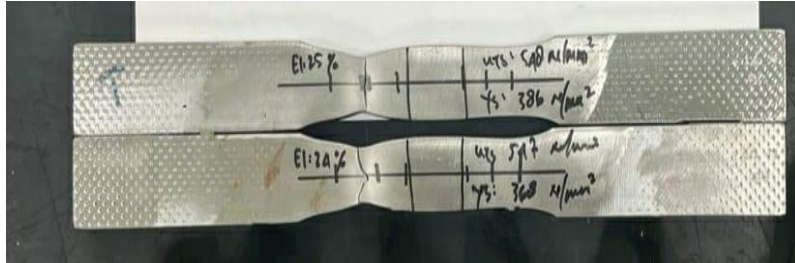
Discard	this piece
Side bend	specimen
Reduced section	tensile specimen
Side bend	specimen
Side bend	specimen
Reduced section	tensile specimen
Side bend	specimen
Discard	this piece

Gambar 16. ASME XI Side bend & tensile test

Pada gambar 16 aturan ASME IX *Side bend test & tensile test* yang menunjukkan penempatan dan jenis *specimen* uji untuk mengenai cara pemotongan dan pengambilan *specimen* uji dari material, untuk memastikan bahwa pengujian *tensile test* dan *bend test* telah memenuhi standar.

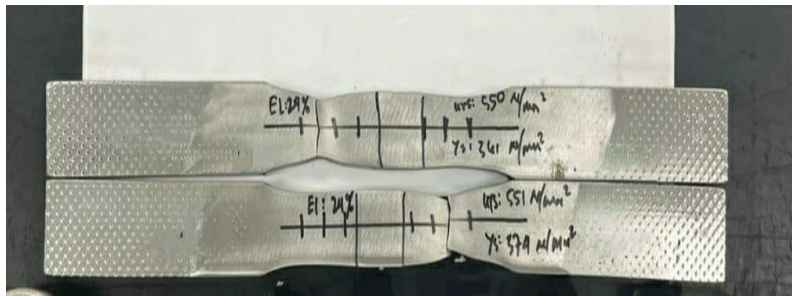
3.3 Pengujian Tarik

Pengujian Tarik digunakan untuk mengukur ketahanan suatu material terhadap gaya statis yang diberikan secara lambat. Pengujian ini dilakukan dengan standart ASME IX. Berikut merupakan data hasil dari pengujian uji Tarik



Gambar 17. Pengujian Tarik Pada Spesimen Non- Preheat

Pada gambar 17 menjelaskan pengujian *tensile test* mendapatkan hasil *Ultimate Tensile Strength* (UTS) masing-masing *specimen* 548 N/mm² dan 547 N/mm² setelah dilakukan pengujian menggunakan mesin *Universal Testing Machine* (UTM)



Gambar 18. Pengujian Tarik Pada Spesimen Preheat 50 °C

Pada gambar 18 menjelaskan pengujian *tensile test* mendapatkan hasil *Ultimate Tensile Strength* (UTS) masing-masing *specimen* 550 N/mm² dan 551 N/mm² setelah dilakukan pengujian menggunakan mesin *Universal Testing Machine* (UTM)

Table 3.3
Data Pengujian uji Tarik

Perlakuan	NO	Tebal (mm)	Lebar (mm)	<i>Ultimate Tensile Strength</i>	Lokasi Patah
<i>Ambient Temperature</i>	1	24.82	19.19	548 N/mm ²	BM
	2	24.77	19.19	547 N/mm ²	BM
<i>Preheat 50 ° C</i>	1	24.6	19.70	550 N/mm ²	BM
	2	24.8	19.70	551 N/mm ²	BM

Pada table 3.3 menjelaskan ukuran material pada perlakuan *ambient temperature* dan *preheat 50°C* Masing-masing material *non preheat* mempunyai tebal 24.82 mm dan 24.77 mm. Tebal material tersebut didapatkan setelah dilakukan pengamplasan pada material dengan menggunakan gerinda begitu juga dengan material yang di perlakuan *preheat 50°C* dengan tebal 24.6 mm dan 24.8 mm dan lebar tersebut didapatkan setelah dipotong menjadi

specimen pengujian diukur melalui *weld metal* hingga base metal mendapatkan ukuran sebesar 19.19 mm pada material non *preheat* dan pada material *preheat* 50°C lebar ukuran sebesar 19.70 mm. *Ultimate Tensile strength* didapatkan setelah dilakukan pengujian dengan mesin *Universal Testing Machine* (UTM) didapatkan hasil pada material non *preheat* pada masing-masing material 547 N/mm² dan 548 N/mm² dan material *preheat* 550 N/mm² dan 551 N/mm² dan hasil tersebut memenuhi standar ASME IX dengan maksimal (400 MPa)

3.3.1 Pembahasan Hasil Pengujian Tarik

Kekuatan Tarik adalah salah satu sifat material yang digunakan untuk mengetahui karakteristik bahan saat menerima beban. *Ultimate Tensile Strength* adalah nilai tegangan *maksimum* yang ditahan oleh suatu maerial saat diuji tarik sebelum mengalami kegagalan atau putus. Nilai ini biasanya dinyatakan dalam suatu (MPa). Semakin tingi kekuatan Tarik suatu material, semakin kuat material tersebut. Besarnya kekuatan Tarik dipengaruhi oleh beberapa factor, salah satunya adalah perlakuan panas yang diberikan sebelum proses pengelasan (*preheat*).

Dari data yang didapat setelah melakukan pengujian uji tarik, pengujian dengan perlakuan suhu *preheat* 50°C memiliki kekuatan tarik yaitu 550 N/mm. Sedangkan nilai kekuatan tarik dengan perlakuan *non-preheat* yaitu 548 N/mm. Dari data tersebut dapat disimpulkan bahwa adanya panas akibat dari proses *preheat* akan membuat sifat mekanik pada material berubah. Perlakuan *preheat* sebelum pengelasan terbukti meningkatkan nilai *Ultimate Tensile Strength* (UTS) material. Walaupun tidak terlalu signifikan, material baja A36 tanpa *preheat* memiliki nilai UTS sekitar 548–547 MPa, sedangkan setelah diberi *preheat* pada suhu 50°C, nilai UTS dapat meningkat menjadi 550–551 MPa, tergantung parameter lainnya. Peningkatan ini terjadi karena *preheat* mengurangi tegangan sisa dan membentuk struktur *mikro* yang lebih stabil dan tahan tarik.

QW-153 ACCEPTANCE CRITERIA — TENSION TESTS

QW-153.1 Tensile Strength. Minimum values for procedure qualification are provided under the column heading "Minimum Specified Tensile, ksi" of Table QW/QB-422. In order to pass the tension test, the specimen shall have a tensile strength that is not less than

- (a) the minimum specified tensile strength of the base metal; or
- (b) the minimum specified tensile strength of the weaker of the two, if base metals of different minimum tensile strengths are used; or
- (c) the minimum specified tensile strength of the weld metal when the applicable Section provides for the use of weld metal having lower room temperature strength than the base metal;
- (d) if the specimen breaks in the base metal outside of the weld or weld interface, the test shall be accepted as meeting the requirements, provided the strength is not more than 5% below the minimum specified tensile strength of the base metal.
- (e) the specified minimum tensile strength is for full thickness specimens including cladding for Aluminum Alclad materials (P-No. 21 through P-No. 23) less than 1/2 in. (13 mm). For Aluminum Alclad materials 1/2 in. (13 mm) and greater, the specified minimum tensile strength is for both full thickness specimens that include cladding and specimens taken from the core.

Spec. No.	Designation, Type, or Grade	UNS No.	Minimum Specified Tensile, ksi (MPa)	Welding		Brazing		Nominal Composition	Typical Product Form	
				P-No.	Group	P-No.	ISO 15608 Group			
A/SA-36	58 (400)	1	1	101	100	11.1	C-Mn-Si	Plate, bar & shapes

Gambar 19. Kriteria Penerimaan uji tarik (*tensile test*)

Pada gambar 19 Aturan ASME Section IX QW-153 – Kriteria Penerimaan untuk Uji Tarik (*Tension Test*) Menjelaskan Nilai minimum kekuatan tarik yang ditentukan dari logam dasar. Hasil uji tarik bisa di terima karena uji tarik *ultimate* dari *kupon uji* Adalah 547 MPa 548 MPa dan 550 MPa 551 MPa

3.4 Pengujian Bending

Pengujian bending atau uji tekuk merupakan salah satu metode pengujian mekanik yang bertujuan untuk mengetahui kemampuan suatu material dalam menahan beban lentur tanpa mengalami kerusakan seperti retak atau patah.



Gambar 20. Spesimen Pengujian Bend Non Preheat 1



Gambar 21. Spesimen Pengujian Bend Non Preheat 2

Pada gambar 20. dan gambar 21. Menjelaskan adanya tanda-tanda retak di area las saat dilakukan pembungkakan, serta permukaan bungkak yang tidak rata. Kondisi ini menandakan adanya penumpukan tegang yang lebih lemah akibat pendinginan yang cepat setelah proses pengelasan, sehingga mengurangi kemampuan sambungan pada *specimen* pertama menghasilkan retakan sebesar 4.8mm dan pada material 2 *specimen* 1 dan 3 menghasilkan retakan sebesar 4,91 dan 4,8mm



Gambar 22. Spesimen Pengujian Bend Preheat 50 °C



Gambar 23. Spesimen Pengujian Bend Preheat 50 °C

Pada Gambar 22 dan gambar 23. Menjelaskan pada *specimen preheat* cenderung memiliki kemampuan lentur yang lebih tinggi, ditandai dengan permukaan bungkak yang lebih halus dan sedikit cacat seperti retak atau deleminasi. Ini menunjukkan bahwa proses *preheat* efektif dalam mengurangi tegangan sisa serta meningkatkan keuletan pada sambungan las

Table 3.4
Data Hasil Bend Test.

<i>BEND TEST</i> di ujikan dengan 4 test piece dengan masing masing 4 potong			
No	Spesimen	Result	Remark
1	S1	FOUND DEFECT 4.8MM	Material Non Preheat 1
2	S2	NO DEFECT FOUND	
3	S3	NO DEFECT FOUND	
4	S4	NO DEFECT FOUND	
No	Spesimen	Result	Remark
1	S1	FOUND DEFECT 4.91, 4.8MM	Material Non Preheat 2
2	S2	NO DEFECT FOUND	
3	S3	FOUND DEFECT 1.98MM	
4	S4	NO DEFECT FOUND	

<i>BEND TEST</i> di ujikan dengan 4 <i>test piece</i> dengan masing masing 4 potong			
No	Spesimen	<i>Result</i>	<i>Remark</i>
1	S1	<i>NO DEFECT FOUND</i>	Material <i>Preheat</i> 1
2	S2	<i>NO DEFECT FOUND</i>	
3	S3	<i>NO DEFECT FOUND</i>	
4	S4	<i>NO DEFECT FOUND</i>	
No	Spesimen	<i>Result</i>	<i>Remark</i>
1	S1	<i>NO DEFECT FOUND</i>	Material <i>Preheat</i> 2
2	S2	<i>NO DEFECT FOUND</i>	
3	S3	<i>NO DEFECT FOUND</i>	
4	S4	<i>NO DEFECT FOUND</i>	

Pada Table 3.4 Menjelaskan ada nya *defect* pada speismen S1 4.8mm pada material *non preheat* 1 dan pada material *non preheat* 2 di *specimen* S1 ada nya *defect* 4,91 dan 4,8 mm dan pada *specimen* S3 mendapatkan *defect* 1,98 mm pada material *non preheat* 2 ,Penjelasan pada aturan ASME IX jika salah satu menunjukan retak terbuka sepanjang 2 mm masih bisa diterima dan apabila mendapatkan retak 4 mm dinyatakan pengujian ini gagal.

QW-163 ACCEPTANCE CRITERIA — BEND TESTS

The weld and heat-affected zone of a transverse weld-bend specimen shall be completely within the bent portion of the specimen after testing.

The guided-bend specimens shall have no open discontinuity in the weld or heat-affected zone exceeding $\frac{1}{8}$ in. (3 mm), measured in any direction on the convex surface of the specimen after bending. Open discontinuities occurring on the corners of the specimen during testing shall not be considered unless there is definite evidence that they result from lack of fusion, slag inclusions, or other internal discontinuities. For corrosion-resistant weld overlay cladding, no open discontinuity exceeding $\frac{1}{16}$ in. (1.5 mm), measured in any direction, shall be permitted in the cladding, and no open discontinuity exceeding $\frac{1}{8}$ in. (3 mm) shall be permitted along the approximate weld interface.

GAMBAR 24. Aturan ASME pada pengujian uji *bend test*

Pada Gambar 24 Aturan ASME IX QW-163 KRITERIA PENERIMAAN-UJI BENDING Menjelaskan bahwa Sambungan las dinyatakan lulus uji tekuk apabila tidak terdapat cacat terbuka (*open defect*) seperti *porosity*, *slag inclusion* dan *lack of fusion*. Pada permukaan tekuk melebihi $\frac{1}{8}$ in. (3 mm) dalam panjang total setiap *specimen* uji bending. Tujuan uji *bend test* untuk menilai *duktilitas* dan intergritas lasan ,serta memastikan bahwa sambungan las tidak mengalami cacat serius seperti *prosiy* atau *lack of fusion* yang dapat terlihat di permukaan

3.4.1 Pembahasan Hasil Pengujian bending

Pengujian Lentur dilakukan untuk menilai kemampuan sambungan las pada material A36 dalam menahan *deformasi plastis* tanpa mengalami kerusakan seperti cacat las. Proses pengujian dilakukan dengan membengkokkan *specimen* hingga sudut tertentu berdasarkan standar yang ditetapkan, guna mengamati sambungan las. Hasil uji memperlihatkan perbedaan respons antara *specimen* yang mendapatkan perlakuan *preheat* dan yang *non preheat* sebelum proses pengelasan. *Specimen* dengan *preheat* cenderung memiliki kemampuan lentur yang lebih tinggi, ditandai dengan permukaan bengkok yang lebih halus dan sedikit cacat seperti retak atau delemisasi. Ini menunjukkan bahwa proses *preheat* efektif dalam mengurangi tegangan sisa serta meningkatkan keuletan pada sambungan las. Sebaliknya, pada *specimen* yang tidak diberi *preheat*, beberapa menunjukkan tanda-tanda retak di area las saat dilakukan pembengkokan, serta permukaan bengkok yang tidak rata. Kondisi ini menandakan adanya penumpukan tegang yang lebih lemah akibat pendinginan yang cepat setelah proses pengelasan, sehingga mengurangi kemampuan sambungan. Dapat disimpulkan bahwa proses *preheat* memberikan pengaruh positif terhadap performa lentur sambungan las material A36. Guna menstabilkan antara logam las dan logam induk, sehingga memperbaiki sifat mekanik sambungan secara keseluruhan. Hasil ini sejalan dengan teori bahwa pemanasan awal dapat mengurangi tegangan *termal*

3.5 Struktur Makro

Pengujian makro dilakukan dengan cara menetsa benda terlebih dahulu. Setelah itu daerah las akan terlihat pada gambar 25 dan gambar 26 menunjukkan bahwa foto tersebut dengan *preheat* 50°C bersih dari cacat las karena ada nya perlakuan *preheat* pada material tersebut dan pada gambar 27 dan gambar 28 menunjukkan bahwa foto tersebut tanpa perlakuan *preheat* mendapatkan cacat las seperti *porosity*.



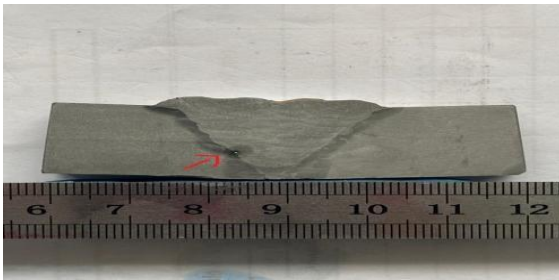
Gambar 25 Makro Material 1 *preheat* 50 °C



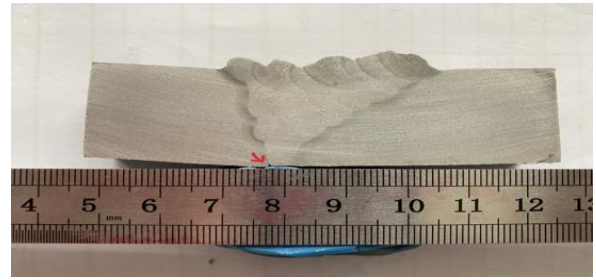
Gambar 26 Makro Material 2 *Preheat* 50 °C

Spesimen No	Thickness (mm)	Remarks
M1	25	<i>Thorough fusion with no cracks, undercut & slag</i>
M2	25	<i>Thorough fusion with no cracks, undercut & slag</i>

Pada Gambar 25 dan 26 menjelaskan Struktur *makro* pada *specimen preheat* tampak lebih seragam, dengan penetrasi yang baik dan terbebas dari cacat las seperti *porosity*, Perlakuan panas sebelum pengelasan ini berperan dalam mengurangi perbedaan suhu yang ekstrem selama proses pengelasan, sehingga dapat menurunkan potensi munculnya cacat



Gambar 27 Makro Material 1 Non Preheat



Gambar 28 Makro Material 2 Non Preheat

Spesimen No	Thickness (mm)	Remarks
M3	25	Porosity 2 mm
M4	25	Lack of fusion

Pada Gambar 27 dan gambar 28 menjelaskan Struktur makro pada spesimen *non preheat* tampak adanya cacat makro seperti *porosity* dan *lack of fusion* dan pada sample ini terlihat kasar dan lebih besar akibat pendinginan cepat setelah pengelasan

QW-184 MACRO-EXAMINATION — PERFORMANCE SPECIMENS

Visual examination of the cross section of the weld metal and heat-affected zone shall reveal

- (a) no incomplete fusion
- (b) no cracks
- (c) no other linear indications with a length greater than $\frac{1}{32}$ in. (0.8 mm)
- (d) no concavity or convexity greater than $\frac{1}{16}$ in. (1.5 mm)
- (e) no more than $\frac{1}{8}$ -in. (3-mm) difference between the fillet weld leg lengths

Gambar 29 kriteria pemeriksaan *visual ASME IX SECTION QW-184*

Gambar 29 menjelaskan bahwa hasil las harus bebas dari cacat visual yang dapat mempengaruhi kekuatan dan ketahanan sambungan. Pemeriksaan ini merupakan bagian penting dalam pengujian kualitas sambungan las, khususnya sebelum melanjutkan ke pengujian mekanis seperti uji tarik atau uji tekuk.

3.7 Pembahasan Struktur Makro

Pemeriksaan struktur makro bertujuan untuk melihat kondisi fisik dan ciri-ciri sambungan las pada material A36 setelah proses pengelasan, baik yang telah diberi perlakuan *preheat* maupun yang tidak. Teknik ini sangat penting untuk mengevaluasi aspek-aspek utama sambungan, seperti bentuk dan kedalaman penetrasi logam las, serta pemisahan antara logam las dengan logam induk. Hasil pengamatan terhadap struktur makro memperlihatkan adanya perbedaan yang signifikan antara spesimen yang diberi perlakuan *preheat* dan yang tidak. *Specimen* yang melalui proses *preheat* menunjukkan daerah las yang lebih seragam, dengan penetrasi yang lebih optimal dan jumlah cacat makro seperti retak. Perlakuan panas sebelum pengelasan ini berperan dalam mengurangi perbedaan suhu yang ekstrem selama proses pengelasan, sehingga dapat menurunkan potensi munculnya cacat. Sedangkan pada *specimen* tanpa *preheat*, tampak adanya cacat makro berupa retak yang lebih banyak, serta penetrasi las yang kurang merata. Pada sampel ini juga terlihat kasar dan lebih besar, yang mengindikasikan adanya tegangan termal tinggi akibat pendinginan cepat setelah pengelasan. Dapat disimpulkan, proses *preheat* terbukti berperan penting dalam memperbaiki kualitas sambungan las pada material A36 dengan meminimalkan cacat makro dan meningkatkan keseragaman struktur. Kondisi struktur makro yang baik ini mendukung peningkatan karakteristik mekanik sambungan, yang sejalan dengan hasil pengujian *tensile* dan *bending*.

4 Kesimpulan

Dari hasil penelitian dan percobaan perbedaan *preheat* 50 °C dan *ambien temperature* (suhu ruangan) pada baja A36 dengan pengelasan SMAW dengan dilakukan pengujian *tensile test*, *bend test*, struktur makro, maka dapat disimpulkan. Bahwa Pengujian tarik menunjukkan bahwa proses *preheat* didapatkan bahwa nilai kekuatan tarik pada *specimen preheat* 50 °C sebesar 550 N/mm pada material 1 dan untuk material 2 sebesar 551 N/mm Sedangkan nilai kekuatan tarik pada *specimen* dengan perlakuan *non-preheat* yaitu 548 N/mm pada material 1 dan untuk material 2 sebesar 547 N/mm. Pada Pengujian *bend test* dengan *preheat* menunjukkan bahwa hasil tekuk lebih optimal, sudut tekuk bisa lebih besar tanpa retak dan pengujian *bend test* tanpa *preheat* menunjukkan bahwa hasil tekuk bisa menunjukkan retak kecil atau patah, bahkan sebelum mencapai sudut tekuk yang ditentukan. Pada pengujian struktur makro menunjukkan bahwa perbedaan yang signifikan antara *specimen* yang diperlakukan *preheat* menunjukkan daerah las yang lebih seragam sedangkan pada *specimen* tanpa *preheat* menunjukkan tampaknya ada cacat las seperti *porosity* serta penetrasi las yang kurang merata. Berdasarkan penelitian ini bahwa perlakuan *preheat* terbukti memberikan dampak positif terhadap kualitas mekanik dan visual sambungan las. Temuan ini bisa menjadi acuan dalam proses pengelasan.

5 Daftar Pustaka

Penulisan referensi menggunakan urutan angka seperti berikut, dimana nomor urut disesuaikan dengan nomor referensi yang ditulis didalam isi paper.

- [1] S. Nasional, T. Riset, I. P. Series, and S. Vol, “3) 1,2,3,” vol. 10, no. 1, pp. 331–337, 2024.
- [2] A. Ardi, M. H. Asri, and M. Mardin, “Analisis Pengaruh Variasi Bentuk Sambungan Terhadap Karakteristik Mekanis Baja Karbon Rendah Hasil Pengelasan SMAW Dan GTAW,” *Innov. J. Soc. Sci. Res.*, vol. 4, no. 1, pp. 12201–12219, 2024.
- [3] H. Munawar Muthia, I. Gusniar Nugraha, and R. Hanafi, “Pengaruh Jenis Elektroda Las SMAW Terhadap Sifat Mekanik dan Struktur Mikro,” *J. Pendidik. Tek. Mesin Undiksha*, vol. 11, no. 1, pp. 93–110, 2023, [Online]. Available: <http://10.0.93.79/jptm.v11i1.56007>.
- [4] J. Beno, A. . Silen, and M. Yanti, “No 主観的健康感を中心とした在宅高齢者における 健康関連指標に関する共分散構造分析Title,” *Braz Dent J.*, vol. 33, no. 1, pp. 1–12, 2022.
- [5] A. Rifaldi, A. U. Ryadin, and A. R. Hakim, “Pengaruh Suhu *Preheating* Terhadap Kekuatan Tarik Dan Kekerasan Pelat Baja Astm a36 Pada Pengelasan Shielded Metal Arc Welding (Smaw),” *Sigma Tek.*, vol. 4, no. 1, pp. 81–90, 2021, doi: 10.33373/sigmateknika.v4i1.3216.
- [6] D. Prasetyo Koesgi, Sehono, and D. Wicaksono, “Pengaruh Pemanasan Awal Terhadap Sifat Mekanik Sambungan Spot Friction Stir Welding Dalam Pemasangan Rivet Aluminium 2024,” *Tek. STTKD J. Tek. Elektron. Engine*, vol. 7, no. 1, pp. 140–153, 2021, doi: 10.56521/teknika.v7i1.315.
- [7] M. R. Nugraha, “Pengaruh Pre-Heat Pada Pengelasan,” 2021.
- [8] A. A. Firmansyah, “Pengaruh Variasi Temperature Pre-Heat terhadap Kekerasan Rockwel dan Struktur Mikro Pada Pengelasan Smaw Baja Ss400,” pp. 264–268, 2023, [Online]. Available: http://repository.unisma.ac.id/handle/123456789/9092%0Ahttps://repository.unisma.ac.id/handle/123456789/9092%0Ahttps://repository.unisma.ac.id/bitstream/handle/123456789/9092/S1_FT_TEKNIK_MESIN_21901052099_ACHMAD_ALFIAN_FIRMANSYAH.pdf?sequence=1
- [9] S. Sudirman and H. Subiyanto, “Pengaruh *Preheat* terhadap Kekuatan Tarik, Kekerasan Dan NDT pada Pengelasan SMAW Posisi 3G Menggunakan Material Api 2W Grade 50 Untuk Pembuatan Topside Platform,” *J. Tek. ITS*, vol. 12, no. 3, 2023, doi: 10.12962/j23373539.v12i3.120067.
- [10] E. Nuraliansyah, “Pengaruh Proses *Preheat* Dan Postheat Pada Pengelasan Gas Metal Arc Welding (Gmaw) Baja Aisi 1045,” *Gorontalo J. Infrastruct. Sci. Eng.*, vol. 5, no. 2, p. 59, 2022, doi: 10.32662/gojise.v5i2.2354.
- [11] R. A. Irfansyah, “Analisis Pengaruh Variasi *Preheating* Temperature Pada Hasil Pengelasan Baja ASTM A36 Di Atas Permukaan Air Dengan Proses Smaw Terhadap Weld Defect, Kekerasan, Dan Kekuatan Tarik”.