

EVALUASI EFEKTIVITAS PENGURANGAN DAN PENAMBAHAN SUHU PREHEAT DALAM PROSES WELD REPAIR PADA MATERIAL BAJA KARBON API 2W GRADE 50 DITINJAU DARI CACAT LAS DAN KEKERASAN

Sugiono^{1*}, Trisno Susilo², Fajar Tyas Adi³

^{1,2,3}Universitas Karimun, Indonesia

*Email : Sugionoyusuf@yahoo.com¹

Alamat: Jl. Canggai Puteri Kel. Teluk Uma Kec. Tebing Kab. Karimun 29663, Indonesia

Abstract. *This research aims to evaluate the effectiveness of reducing and increasing preheat temperature in the welding repair process on API 2W grade 50 carbon steel material using a stick welding process or Shielding metal arc welding (SMAW). A number of test samples were prepared with varying preheat temperatures of 35°C, 65°C and 95°C with the same welding parameters. This test is carried out by applying a non-destructive test (NDT) and hardness test to reduce the effectiveness of reducing and adding preheat temperature to the welding results after the weld repair process. The results of this research can provide useful guidance or references for students, campuses and the industrial world in minimizing the occurrence of weld defects and knowing the hardness value of API 2W grade 50 material after the weld repair process at companies in future projects*

Keywords: *Evaluation of the effectiveness of reducing and increasing preheat temperature in the weld repair process*

Abstrak. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi efektifitas pengurangan dan penambahan suhu preheat dalam proses perbaikan pengelasan pada material baja karbon API 2W grade 50 menggunakan proses pengelasan las stik atau Shielding metal arc welding (SMAW). Sejumlah sampel pengujian disiapkan dengan variasi suhu preheat sebesar 35°C, 65°C dan 95°C dengan welding parameter pengelasan yang sama. Pengujian ini dilakukan dengan mengaplikasikan uji non-destruktif testing (NDT) dan uji kekerasan untuk mengevaluasi efektivitas pengurangan dan penambahan suhu preheat pada hasil pengelasan setelah proses perbaikan las. Dari hasil penelitan ini bisa memberikan panduan atau referensi yang berguna bagi mahasiswa, kampus dan dunia industri dalam meminimalisir terjadinya cacat las dan mengetahui nilai hardness pada material API 2W grade 50 setelah proses weld repair pada perusahaan di proyek yang akan datang

Kata kunci: Evaluasi efektivitas pengurangan dan penambahan suhu preheat dalam proses perbaikan lasan

Received: Oktober 7, 2024; Revised: Oktober 17, 2025; Accepted: Oktober 27, 2024; Online Available: Maret 20, 2025; Published: Maret 20, 2025;

*Sugiono, Sugionoyusuf@yahoo.com

1. LATAR BELAKANG

Saat ini di era modern, teknologi pengelasan memegang peranan penting dalam industri konstruksi. Dengan terus berkembangnya inovasi teknologi pengelasan, penggunaannya semakin luas dan beragam. Teknologi pengelasan digunakan secara umum dalam pembangunan struktur, instalasi pipa, pembuatan kapal, pembuatan tangki, industri otomotif, pembangunan jembatan, dan berbagai aplikasi lainnya. Banyak penelitian telah dilakukan untuk mempelajari teknologi pengelasan, baik secara manual maupun otomatis, termasuk pengelasan dengan bantuan robot, tergantung pada jenis material dan kebutuhan spesifik untuk mencapai kualitas pengelasan yang optimal dalam hal efisiensi biaya dan waktu pengerjaan.

Pengelasan merupakan proses yang melibatkan pemanasan bahan dengan suhu tertentu untuk menyatukan dua atau lebih bahan dengan cara melelehkan dan menggabungkan logam dengan atau tanpa penggunaan kawat las ("Autogenous welding"). Berbagai jenis kawat las digunakan dalam berbagai jenis proses pengelasan, dengan setiap jenis kawat las memiliki karakteristik dan kegunaan yang berbeda. Tipe model pengelasan yang sering digunakan adalah las stick (SMAW), yang memakai elektroda logam yang dilindungi dengan *fluks*. Dalam penelitian ini, penulis menggunakan jenis kawat las berkode E7018 yang termasuk dalam kategori basic.

Studi oleh Rica Tri Hanif (2016) menunjukkan bahwa preheat mempengaruhi struktur mikro, terutama di daerah *Heat Affected Zone* (HAZ), yang menunjukan titik kritis dalam jenis sambungan lasan. Selain itu, penelitian oleh Ipick Setiawan (2012) menunjukkan bahwa perlakuan Post Heat Treatment dapat mengurangi kekerasan dan tegangan tarik las, sementara meningkatkan ketangguhan las. Oleh karena itu, penting untuk mengevaluasi pengaruh suhu preheat dalam proses pengelasan untuk memahami dan meningkatkan kualitas hasil pengelasan.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh adanya pengurangan dan penambahan suhu preheat (35°C , 65°C dan 95°C) dalam proses perbaikan pengelasan (*weld repair*) ditinjau dari hasil NDT dan Uji kekerasan (*hardness test*).

2. KAJIAN TEORITIS

Material yang digunakan adalah baja karbon API 2W Grade 50. Baja jenis ini adalah pelat baja struktural berjenis menengah yang diproduksi melalui pemrosesan kontrol termo-mekanis (*TMCP*) yang terutama digunakan dalam konstruksi pengelasan struktur lepas pantai. Baja ini memiliki kekuatan leleh minimum sebesar 50 ksi (345 Mpa) dan ketangguhan impak *Charpy V-notch* melintang minimum dengan ketebalan sedang sebesar 30ft-lbt (41 *Joule*) pada suhu -40°C . Adapun maksud dari API 5W Grade 50

API : *American Petroleum Institute*

2W : Baja khusus yang dirancang untuk digunakan di lingkungan lepas pantai atau *offshore*

Grade 50 : Minimum Kekuatan leleh 50 ksi (345 Mpa)

Pengertian pengelasan menurut Sri Widharto (1996) adalah salah satu cara menyambung benda padat dengan jalan mencairkan melalui pemanasan. Berdasarkan definisi dari *Deutsche Industrie Normen (DIN)* las adalah ikatan metalurgi pada sambungan logam oanduan yang dilaksanakan dalam keadaan lumer atau cair. (Azka, 2020)

Menurut *American Welding Society (AWS)*, pengelasan adalah merupakan proses penyambungan yang menyebabkan terjadinya penggabungan material-material melalui pemanasan sampai titik leleh dengan atau tanpa tekanan atau dengan pemberi tekanan saja dan dengan atau tanpa logam pengisi (*filler*). (Azka, 2020)

Uji kekerasan *Vickers (HV)*

Pengertian umum kekerasan ialah penolakan suatu badan (bahan) melawan desakan suatu badan lainnya. Untuk penyelidikan kekerasan dan beberapa cara pengujian. Derajat kekerasan diungkapkan dengan angka kekerasan yang berlainan untuk setiap cara. Tetapi angka ini dapat dihitung alih dari yang satu ke yang lainnya dengan pertolongan tabel (disertakan satu sama lain). Angka ini mengizinkan perbandingan antara kekerasan bahan yang berlainan, bahkan juga pernyataan yang dilandasi pengalaman mengenai kekuatan dan sifat lainnya. Pengujian kekerasan memiliki keunggulan berupa kenyataan bahwa disini benda yang diuji tidak dihancurkan.

Peran sebagai badan penedesak dimainkan oleh pucuk sebuah piramid intan yang ditetapkan tanpa kejutan pada segenap benda uji yang benar-benar rata dan polos. Pada permukaan benda yang diuji akan terjadi bekas penekanan bentuk piramid

Kekerasan *Vickers* dapat dinyatakan dengan rumus:

$$\text{HV: } \frac{1,854P}{d^2}$$

Dimana:

P = Beban penekan (kg)

d = Diagonal bekas penekanan dalam mm (rata-rata dari d1 dan d2)

Penentuan kekerasan secara *Vickers* digunakan untuk bahan-bahan yang keras dan tidak dapat untuk bahan-bahan lunak dan yang tidak homogen seperti besi tuang.

Uji tanpa merusak benda Uji (NDT)

Non Destructive Test atau disingkat menjadi *NDT testing* merupakan pengujian terhadap benda tanpa merusak benda tersebut untuk mengetahui kondisi material, terlebih jika terdapat kerusakan atau kecacatan. Penerapan pemeriksaan ini dilakukan untuk meminimalisir terjadinya kerusakan pada benda yang diuji.

1. Visual Inspection

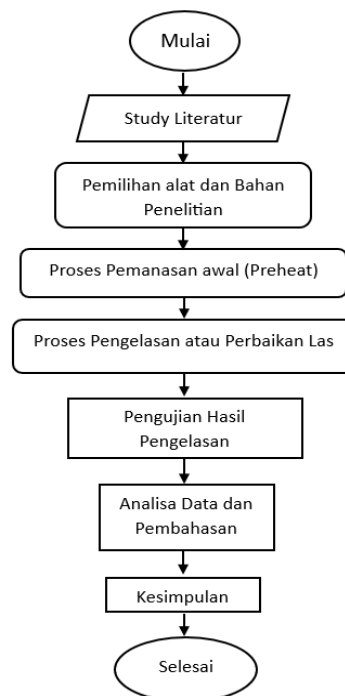
Visual Inspection adalah proses dimana pengujian pada hasil pengelasan dengan melihat langsung dengan cara mengamati hasil lasan secara kasat mata atau dengan bantu penerangan min 300 lux dengan bantuan penerangan lampu ataupun senter ketika melakukan inspeksi didalam wokshop.

2. RT (*Radiographic Testing*)

Radiographic testing, atau radiografi, adalah suatu metode Non-Destructive Test (NDT) yang menggunakan sinar X atau sinar gamma untuk mendeteksi cacat internal atau eksternal pada benda uji tanpa merusaknya. *Metode Radiography Test* adalah salah satu metode NDT yang menggunakan sumber radiasi pengion sinar gamma atau mesin sinar X untuk mengetahui cacat pada suatu material uji. Radiasi pengion sinar gamma merupakan salah satu bentuk pemanfaatan radiasi yang ada pada zat radioaktif atau radioisotop.

Prinsip kerja metode *Radiography Test* ini adalah menggunakan paparan radiasi yang dihasilkan oleh sumber radiasi yang diarahkan ke objek yang akan diperiksa (benda uji) dan dibalik obyek sudah diletakkan film yang akan merekam hasil pemotretan radiografi. Film ini disinari oleh radiasi dalam waktu tertentu, lama waktu penyinaran dipengaruhi oleh tebal objek yang diperiksa, jarak objek ke sumber radiasi, aktivitas sumber radiasi dan grade film yang digunakan. Setelah proses penyinaran dengan radiasi film ini kemudian diproses di dalam ruang gelap (*dark room*) agar diperoleh gambaran radiografi yang permanen dan tampak. Tahapan pengolahan film secara utuh terdiri dari pembangkitan (*developing*), pembilasan (*rinsing*), penetapan (*fixing*), pencucian (*washing*) dan pengeringan (*drying*). Hasil dari proses tersebut diatas akan menghasilkan film negatif atau yang lebih familiar dengan hasil rontgen pada dunia kedokteran. Kemudian untuk melakukan pembacaan/interpretasi hasil tersebut dibutuhkan skill khusus serta dituangkan dalam form laporan yang khusus untuk memudahkan pemilik barang atau pihak terkait yang berkepentingan mengetahui kondisi dari barang/objek yang dilakukan *Radiography Test*.

3. METODE PENELITIAN



Gambar 1. Diagram Alur Penelitian

Keterangan Gambar dan laur penelitian :

- a. Studi Literatur, beberapa referensi penulis gunakan pada saat melakukan penelitian diantaranya sebagai berikut :
 - 1) Abdulloh et al (2023), Pengujian Non Destructive Test dan Destructive Test WPS untuk Product Tubular Lower Leg Jacket S420 G2+ M Z35
 - 2) Askar et al (2013), Pengaruh Preheat dan Tempering Terhadap Kekerasan dan Struktur Mikro Hasil Pengelasan Baja JIS SS400
 - 3) Pangaribowo, (2018), Studi Pengaruh Pemanasan Awal Pada Pengelasan Ulang Baja ASTM A36 Akibat Reparasi Terhadap Sifat Mekanis Menggunakan Proses Las FCAW
 - 4) Zulfadly,(2022), Analisa Variasi amper terhadap kekuatan tarik pada hasil pengelasan dengan posisi down hand
- b. Pemilihan alat dan bahan penelitian
 - 1) Alat yang dipakai adalah Satu mesin Las SMAW,Satu set preheat (tabung gas LPG,Burner) Digital stick Termometer, welding gauge,Pengaris stainless steel, Amper meter, kaliper dan perlengkapan keselamatan kerja.
 - 2) Bahan – material yang dipakai Jenis material adalah API 2W grade 50, dengan joint tipe single V Buttweld sedangkang sample test yang dipakai masing masing adalah Pengelasan pertama (*Original Weld*) atau joint reject dari hasil NDT-*Radiographic Testing* menggunakan sinar Gamma -ray Ir.192 pada material API 2W Grade.50 dengan detail sebagai berikut :
 - a) Specimen no. 1 (Joint No.S75R1)
Material Thikness yang digunakan pada sample-1 : 31.75 mm, memakai WPS -070R, dengan menggunakan 1 juru las dengan welder Id : VME-808.
 - b) Specimen no. 2 (Joint No.S67R1)
Material thikness yang digunakan pada sample -2 : 31.75mm, memakai WPS-070R dengan menggunakan 1 juru las dengan welder id : VME-783.
 - c) Specimen no. 3 (Joint No.S68R1)
Material thikness yang digunakan pada sample -3: 31.75mm, memakai WPS-070R dengan menggunakan 1 juru las dengan welder id : VME-803.

c. Proses pemanasan awal (preheat) pada proses weld repair

Preheat atau pemanasan awal merupakan pemanasan yang dilakukan sebelum proses dimulainya pengelasan, umumnya preheat antara 30⁰C sampai 400⁰C bertujuan untuk memenuhi sifat-sifat mekanik yang dibutuhkan, pada proses pemanasan material suhu austenisasi ditahan dengan waktu tertentu. (Khaqiqi Muamar, Mulyo Sri Bondan, 2021).

d. Proses pengelasan pada weld repair (perbaikan pengelasan)

Setelah tercapai suhu pemanasan awal yang ditentukan sesuai penelitian ini selanjutnya dilakukan proses pengelasan. Pada tahapan ini proses perbaikan pengelasan dengan menggunakan welding proses SMAW.

e. Pengujian hasil pengelasan

Pengujian hasil weld repair dilakukan dengan menggunakan metode visual, Radiographic testing dan hardness test

f. Analisa data dan pembahasan

Hasil Radiographic testing dan hardness test dengan hasil variable yang berbeda dianalisa datanya secara metode kuantitatif untuk menguji hasil hipotesa yang didapat.

g. Kesimpulan

Data hasil analisa pengelasan, NDT dan hardness testing dapat di ambil kesimpulan dari hasil penelitian.

Populasi dan Sampel

Populasi yang digunakan dalam penelitian adalah material baja karbon API 2W Grade 50 dipembuatan jembatan di project EPC for North Field Production Sustainability offshore and pipe line project. Dimana material yang dipakai adalah berbagai size diameter 10"-32" pipa tubular Main cord, horizontal brazing, vertical bracing. Material ini kemudian di fabriakasi dan di erection menjadi sebuah jembatan atau bridges yang menghubungkan dari platform satu ke platform yang lainnya.

Dari proses fabrikasi setelah dilakukan NDT terjadi weld repair yang perlu adanya perbaikan. Disini penulis melakukan experiment 3 variable nilai preheat yang berbeda sebelum dilakukan proses weld repair. Test specimen yang digunakan yakni 3 join weld

repair pada hasil uji *radiographic testing*. Proses selanjutnya yaitu perlakuan pemanasan awal (Preheating) dimana masing masing sample test akan dilakukan preheat yang di kategorikan menjadi 3 parameter preheat yaitu 35⁰C, 65⁰C (*preheat original*) dan 95⁰C (adanya penambahan 30⁰C) atau sesuai Original WPS dan Repair WPS.

Teknik Analisa Data

Metode yang digunakan pada penelitian ini melakukan metode kuantitatif, yaitu dengan cara mengambil data nilai suhu pemanasan awal, welding parameter pada saat melakukan perbaikan las serta menganalisa hasil NDT dan hasil pengujian hardness dimana pengelolaan data ini menjadi informasi penting sehingga karakteristik dan sifat data penelitian dapat dengan mudah dipahami dan dapat bermanfaat untuk menjawab masalah masalah yang berkaitan dengan kegiatan penelitian. Oleh karena itu teknik analisa data dapat diartikan sebagai salah satu cara dalam melaksanakan analisa data penelitian.

Ada beberapa cara yang dilakukan penulis dalam melakukan pengujian dengan menggunakan variasi nilai pemanasan awal yang berbeda beda untuk menghasilkan nilai evaluasi efektivitas penambahan dan pengurangan suhu preheat dalam proses perbaikan las (*weld repair*) pada material baja karbon API 2W grade 50.

Dibawah ini langkah langkah dalam pengujian berdasarkan urutannya sebagai berikut :

1. Pengujian pertama adalah dengan melakukan pemanasan awal (preheat) dengan 3 nilai suhu yang berbeda.
 - a. Specimen.01, Material API 2W grade .50 Thikness 31.75mm preheat 35⁰C
 - b. Specimen.02, Material API 2W grade .50 Thikness 31.75mm preheat 65⁰C
 - c. Specimen.03, Material API 2W grade .50 Thikness 31.75mm preheat 95⁰C
2. Pengujian kedua adalah melakukan pengecekan dan pencatatan aktual welding parameter yang dipakai memastikan heat input sesuai dengan WPS.
3. Pengujian selanjutnya adalah analisa hasil laporan NDT (*non destructive testing*) setelah proses perbaikan las.
4. Pengujian keempat adalah persiapan specimen untuk uji kekerasan (*hardness*) pada proses perbaikan las menggunakan welding proses SMAW, menggunakan *vacum packge* kawat las E7018 dengan diameter 3.2mm, dengan nilai 3 suhu preheat yang berbeda yakni 35⁰C, 65⁰C dan 95⁰C.

Lokasi dan Jadwal Penelitian

Penelitian dilakukan di PT VME proses batam dimana sedang berlangsung fabrikasi jembatan (Bridges) pada project Qatar Gas. Jadwal Penelitian yang meliputi persiapan , pelaksanaan dan pelaporan hasil penelitian dan bentuk tabel dibawah ini :

Tabel 1. Jadwal Penelitian

No	Uraian	Mei				Juni			
		1	2	3	4	1	2	3	4
1	Persiapan Penelitian	■	■						
2	Perencanaan, Pemilihan alat dan Bahan Penelitian			■	■				
3	Proses Preheat dan Pengelasan Perbaikan las					■			
4	Pengujian Hasil Pengelasan						■		
5	Pengelolaan Data							■	
6	Penyusunan Laporan								■

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Evaluasi Penambahan suhu preheat

Dimulai dengan tahap persiapan alat dan bahan yang digunakan yakni 3 join weld repair pada hasil uji *radiographic testing*. Proses selanjutnya yaitu perlakuan pemanasan awal (Preheating) dimana masing masing sample test akan dilakukan preheat yang di katagorikan menjadi 3 parameter preheat yaitu 35⁰C, 65⁰C (*preheat original*) dan 95⁰C (adanya penambahan 30⁰C) atau sesuai Original WPS dan Repair WPS.

Berikut adalah Tabel 2 experiment Nilai Suhu pemanasan Awal (preheat) yang diuji.

Tabel 2. Tabel Experiment Nilai Suhu Preheat

No Specimen	Material Grade	THK (mm)	Preheat Original Weld (°C)	Penambahan suhu Preheat- (°C)	Eksperimen penambahan suhu preheat-(°C)
Specimen 01	API 2W Gr.50	31.75	65 ⁰ C	-30 ⁰ C	35 ⁰ C
Specimen 02	API 2W Gr.50	31.75	65 ⁰ C	0 ⁰ C	65 ⁰ C
Specimen 03	API 2W Gr.50	31.75	65 ⁰ C	+ 30 ⁰ C	95 ⁰ C

Untuk percobaan pertama tanpa menggunakan pemanasan awal yakni 35⁰C dilanjutkan sampel test ke dua pemanasan awal menggunakan suhu 65⁰C preheat dilakukan dengan suhu 75⁰C dengan asumsi ada penurunan suhu menjadi 65⁰C ketika mau dilaksanakan proses pengelasan dan untuk percobaan ketiga pemanasan awal dilakukan pemanasan hingga 105⁰C dengan asumsi terdapat penurunan suhu *preheat* selama 2 atau

3 menit menjadi 95°C ketika mau dimulainya proses pengelasan. Pada gambar dibawah ini adalah contoh dari pengukuran suhu *preheat* dengan menggunakan termometer.

Consumable dan Peralatan pemanasan awal dengan menggunakan Gas LPG dan *burner stick*, dimana process pemanasan awal dilakukan dengan cara mengarahkan api atau gas *burner* kearah objek pengelasan atau disesuaikan dengan material induk yang akan dipanaskan pada bagian material yang akan di *preheat* 75mm ke kanan dan kekiri dari ujung *bevel* pengelasan untuk mengantisipasi adanya proses laju pendinginan. Setelah suhu pemanasan sudah tercapai maka dicek dengan menggunakan alat termometer sebagai alat ukurnya sebelum proses pengelasan.

Tahapan Proses Pengelasan

Setelah tercapai suhu pemanasan awal yang ditentukan sesuai penelitian ini selanjutnya dilakukan proses pengelasan. Pada tahapan ini proses perbaikan pengelasan dengan menggunakan welding proses SMAW. Dimana ada 2 sample test yang diuji dengan metode yang sama dan hanya berbeda di tahap pemanasan awal (*preheat*). Untuk mengetahui tahapan detailnya sebagai berikut :

1. Check hasil NDT melalui hasil NDT Report dari hasil RT , lakukan marking di area yang terindikasi oleh cacat las dengan menggunakan *permanent marker* dengan penambahan 50 mm kanan dan kekiri untuk mengantisipasi cacat las tidak tertinggal.
2. Lakukan proses pengerindaan di area *welding defect* atau lihat step no.1 lakukan pengukuran lebar dan panjang dilanjutkan dengan *visual Inspection* langsung di area *exavation* dan MPI untuk memastikan cacat las sudah terbuang dengan bersih (*removed*)
3. Lakukan Pemanasan awal (*preheat*) sesuai dengan parameter *preheat* yang diteliti lihat (section 4.1)
4. Lakukan proses pengelasan dengan welding proses SMAW,
 - a. **Sampel 01**, Welding parameter yang digunakan di pengelasan ini adalah arus sebesar **123-142A** ,tegangan sebesar **21-23V** dan kecepatan las **132-170** mm/min. Kawat las yang digunakan adalah standart AWS A5.1,E7018-1H4,diameter 3.2mm dan 4.0mm dengan merek dagang Oerlikon Supercito, menggunakan arus DCEP.
 - b. **Sampel 02**, Welding parameter yang digunakan di pengelasan ini adalah arus sebesar **123-142A**,tegangan sebesar **21-23V** dan kecepatan las **132-170** cm/min.

Kawat las yang digunakan adalah standart AWS A5.1,E7018-1H4,diameter 3.2mm dan 4.0mm dengan merek dagang *Oerlikon Supercito*, menggunakan arus DCEP.

- c. **Sampel 03**, Welding parameter yang digunakan di pengelasan ini adalah arus sebesar **125-141A**,tegangan sebesar **21-23 V** dan kecepatan las **133-170 cm/min**.

Kawat las yang digunakan adalah standart AWS A5.1,E7018-1H4,diameter 3.2mm dan 4.0mm dengan merek dagang *Oerlikon Supercito*, menggunakan arus DCEP.

Penulis juga menghitung nilai heat input menggunakan rumus sebagai berikut :

$$HI = \frac{V \times A \times 0.06}{Travel\ Speed}$$

Dimana :

V = Voltage (V)

A = Amper (A)

TS = Travel Speed (mm/min)

HI =Heat Input (kj/mm)

Bisa dilihat lampiran hasil record pada saat proses pengelasan berlangsung pada sampel 1,2 dan sampel 2



Gambar 2. Proses Pengecekan Welding Parameter Pada Saat Proses Pengelasan.

Pengujian ditahapan ini melakukan pengecekan dan pencatatan langsung aktual welding parameter yang dipakai serta memastikan juga heat input masih sesuai dengan WPS yang berlaku. Berikut nilai welding parameter yang dipakai

Tabel 3. Welding parameter Specimen no.02

No	Specimen No	Amper	Voltage	Travel Speed (mm/min)	Heat Input (kj/mm)
1	Specimen no. 01	142	21.7	160	1.16
		138	22	165	1.10
		135	21.5	170	1.02
		124	22	136	1.20
		127	22	132	1.27
		123	21.7	140	1.14
Rata-rata		131.5	21.8	150.5	1.14

Tabel 4. Welding parameter Specimen no.02

No	Specimen No.	Amper	Voltage	Travel Speed (mm/min)	Heat Input (kj/mm)
2	Specimen no. 02	137	21	159	1.09
		140	21	165	1.07
		142	21	166	1.08
		141	23	170	1.14
		123	22	132	1.23
		125	22	140	1.18
		127	22	135	1.24
Rata-rata		134	22	152	1.14

Tabel 5. Welding parameter Specimen no.03

No	Specimen No.	Amper	Voltage	Travel Speed (mm/min)	Heat Input (kj/mm)
3	Specimen no. 03	141	21	160	1.11
		128	21	164	0.98
		135	21	166	1.02
		139	23	170	1.13
		124	22	133	1.23
		127	22	137	1.22
		125	22	140	1.18
Rata-rata		131	22	153	1.12

Visual Inspection setelah proses weld repair

Pada tahapan ini penelitian akan melakukan Visual inspection pada area yang dilakukan proses *weld repair* dimana metode inspeksi yang melibatkan pemeriksaan langsung terhadap pipa setelah proses *weld repair*. Tujuan dari inspeksi visual adalah untuk mengidentifikasi adanya cacat las dengan metode visual disurface area seperti retakan, korosi,porosity,slag, deformasi, atau kebocoran yang bisa dilihat secara langsung. Langkah-langkah yang perlu dilakukan dalam inspeksi diantaranya meliputi:

1. **Persiapan:** Identifikasi pipa dan sistem pipa yang akan diinspeksi, serta lokasi, kondisi, jenis material, dan informasi lain yang relevan(code dan standart). Persiapan juga meliputi peralatan seperti alat uji, welding gauge,instrumen, perangkat pengujian, dan perlindungan personal.
2. **Pemeriksaan Visual:** Pemeriksaan langsung menggunakan mata manusia atau perangkat optik seperti kamera endoskopi untuk mengidentifikasi kerusakan visual seperti retakan, korosi, deformasi, atau kebocoran yang terlihat secara langsung.

Inspeksi visual ini sangat penting dalam industri pertambangan untuk memastikan kualitas, keamanan, dan kelancaran operasional keseluruhan. Dengan menggunakan

berbagai teknik inspeksi, inspeksi pipa dapat berjalan dengan akurat dan efisien, memungkinkan identifikasi dini dan perbaikan cacat sebelum menyebabkan kegagalan sistem atau kerugian yang lebih besar.

Analisa Hasil Uji NDT and Hardness Test

NDT (non destructive testing) – Radiographic testing

Pengujian NDT – RT bertujuan untuk mengetahui hasil pengelasan bebas dari adanya cacat las di are *sub surface* dan peneliti melakukan skala perbandingan dari hasil RT pada sample test Orginal weld dan hasil RT setelah dilakukan proses weld repair menggunakan Manual RT dengan equipment dan source Gamma ray (ir 192) dengan film quality D4 (high kontras quality film)

Proses Review film di darkroom atau RT review pada weld original dan weld repair mengacu pada peraturan atau acceptance criteria di code standart AWS D1.1 Structure welding code yang berlaku.

Berikut ini adalah tabel defect and score penelitian untuk hasil NDT

Tabel 6. Specimen no.01 Welding Defect and scores

Nilai Preheat	Joint No	THK (mm)	WPS	RT	Type of Defect	Individual Score	Comulative Score	Remarks
				Result				
Preheat 65°C (original welding)	S75	31.75	WPS-068	REJ	CP (2)	4	24	Original Weld
		31.75	WPS-068	REJ	LORF (2)	10		Original Weld
		31.75	WPS-068	REJ	POR (3)	3		Original Weld
		31.75	WPS-068	REJ	EC (1)	3		Original Weld
		31.75	WPS-068	REJ	ESI (1)	4		Original Weld
Experiment Preheat 35°C	S75R 1	31.75	WPS-070R1	ACC	POR (1)	1	4	After Weld Repair
		31.75	WPS-070R1	ACC	EC (1)	3		After Weld Repair

Tabel 7. Specimen no.02 Welding Defect and scores

Nilai Preheat	Joint No	THK (mm)	WPS	RT	Type of Defect	Individual Score	Comulative Score	Remarks
				Result				
Preheat 65°C (original welding)	S67	31.75	WPS-068	REJ	POR (2)	2	22	Original Weld
		31.75	WPS-068	REJ	EC (1)	3		Original Weld
		31.75	WPS-068	REJ	CP (1)	2		Original Weld
		31.75	WPS-068	REJ	LORF (3)	15		Original Weld
Experiment Preheat 65°C	S67 R1	31.75	WPS-070R1	ACC	POR (1)	1	1	After Weld Repair

Tabel 8. Specimen no.03 Welding Defect and scores

Nilai Preheat	Joint No	THK (mm)	WPS	RT	Type of Defect	Individual Score	Comulative Score	Remarks
				Result				
Preheat 65°C (original welding)	S68	31.75	WPS-068	REJ	ESI (2)	8	21	Original Weld
		31.75	WPS-068	REJ	LORF(2)	10		Original Weld
		31.75	WPS-068	REJ	POR (1)	1		Original Weld
		31.75	WPS-068	REJ	CP (1)	2		Original Weld
Experiment Preheat 95°C	S68 R1	31.75	WPS-070R1	ACC	ESI (1)	4	4	After Weld Repair

Tabel 9. Score Of Welding Defect

Jenis Cacat Las	Score	Remarks
Porosity	1	Baik
Cluster Porosity	2	Kurang Baik
Elongated Cavity	3	Buruk
Elongated Slag Inclusion	4	Buruk Sekali
Lack of Root Fusion	5	Sangat Buruk

Dalam tabel diatas dilakukan penilaian dengan point 1 sampai 5 , dimana nilai terkecil menunjukkan hasil las yang baik dan nilai terbesar menunjukan hasil las lasan yang sangat buruk.

Definisi welding defect :

POR *Porosity*

LORF *Lack of Root Fusion*

ESI *Elongated Slag Inclusion*

CP *Cluster Porosity*

EC *Elongated Cavity*

NSI *Non Significant Indication*

Dalam tabel diatas pada original weld di temukan adanya 21 point welding defect pada sampel no.1 dan 22 point welding defect pada sampel no 2 sedangkan sampel no.3 sebanyak 21 point welding defect dengan hasil final RT review *Rejected* (tidak diterima) sedangkan setelah proses *weld repair* ditemukan adanya penurunan signifikan defect menjadi 1 point di sampel no.2 dan 4 point di sampel no 1 dan 3 dengan hasil final RT review is *Acceptable* (diterima).

Hardness Test

Pengujian dengan metode kekerasan bertujuan untuk memastikan kekerasan suatu material dalam bentuk daya tahan material terhadap Indentor yang ditekan pada permukaan material benda uji di daerah base metal, HAZ dan weld metal tersebut. Dalam pengujian hardness ini dilakukan dengan sampel benda uji 3 buah dimana setiap masing masing sampel terdapat 3 lokasi pengujian. Berdasarkan hasil pengujian didapat hasil kekerasan sebagai berikut:

Tabel 10. Uji Kekerasan Pada Specimen No. 1

Sampel No.	Material Grade	Test lokasi	Vickers hardness (HV) Test Load applied,10Kgf								
			No	Original Weld		After Repair		MAX nilai HV yang diterima	Selisih	Nilai (%)	Hasil
				Hasil	Average	Hasil	Average				
Sampel 1, Joint No.S75	API 2W Grade 50	Base Metal	1	165	168	195	198	325	30	1.18	Pass
			2	168		204					
			3	171		195					
		HAZ	4	218	231	268	279	325	48	1.21	Pass
			5	237		280					
			6	239		290					
		Weld Metal	7	211	215	244	240	325	25	1.12	Pass
			8	219		242					
			9	216		235					

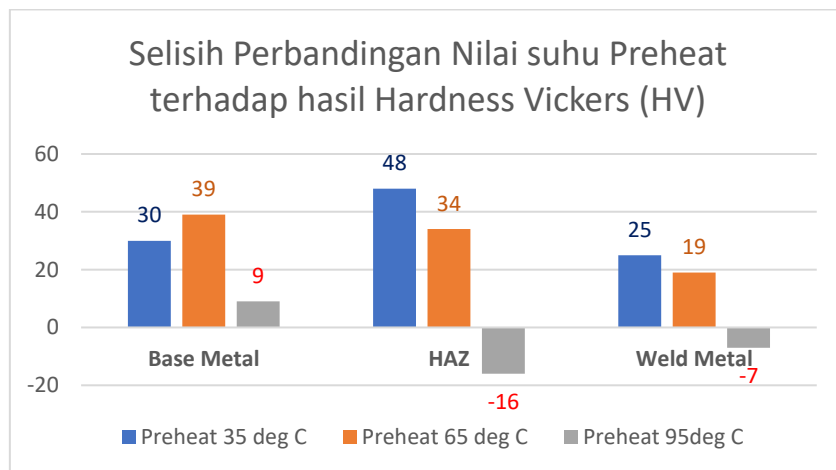
Tabel 11. Uji Kekerasan Pada Specimen No. 2

Sampel No.	Material Grade	Test lokasi	Vickers hardness (HV) Test Load applied,10Kgf								
			No	Original Weld		After Repair		MAX nilai HV yang diterima	Selisih	Nilai (%)	Hasil
				Hasil	Average	Hasil	Average				
Sampel 2, Joint No.S67	API 2W Grade 50	Base Metal	1	152	153	195	192	325	39	1.26	Pass
			2	153		192					
			3	154		190					
		HAZ	4	190	193	215	227	325	34	1.18	Pass
			5	198		224					
			6	190		241					
		Weld Metal	7	214	195	211	215	325	19	1.10	Pass
			8	186		215					
			9	186		218					

Tabel 12. Uji Kekerasan Pada Specimen No. 3

Sampel No.	Material Grade	Test lokasi	Vickers hardness (HV) Test Load applied,10Kgf								
			No	Original Weld		After Repair		MAX nilai HV yang diterima	Selisih	Nilai	Hasil
				Hasil	Average	Hasil	Average				
Sampel 3,Joint No.S68	API 2W Grade 50	Base Metal	1	182	183	188	192	325	9	1.05	Pass
			2	174		185					
			3	193		202					
		HAZ	4	190	189	172	173	325	-16	0.91	Pass
			5	195		171					
			6	183		176					
		Weld Metal	7	198	197	182	190	325	-7	0.97	Pass
			8	195		178					
			9	198		211					

Dari hasil pngujian harness diatas semua test specimen masih masuk standart yakni nilai HV masih di bawah 325 HV.



Gambar 3. Perbandingan Nilai Kekerasan pada Pengelasan

Analisa Uji Hipotesa

A. Uji F

Uji F bertujuan untuk mencari variable independen secara bersama sama (stimulan) yang mempengaruhi variable dependen. Uji F dilakukan untuk melihat pengaruh dari seluruh variable bebas secara bersama -sama terhadap variable terkait. Uji F dilakukan dengan cara membandingkan f hitung dengan f tabel dengan kriteria uji sebagai berikut :

H0 diterima apabila $f_{hitung} < f_{tabel}$ (tidak berpengaruh)

H1 diterima apabila $f_{hitung} > f_{tabel}$ (berpengaruh)

ANOVA^a

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	2302.260	1	2302.260	12.296	.010 ^b
	Residual	1310.629	7	187.233		
	Total	3612.889	8			

a. Dependent Variable: Kekerasan
b. Predictors: (Constant), Suhu

Gambar 4. Uji F (Anova)

Cara menentukan F hitung bisa dilihat dari tabel ANOVA nilainya

F hitung = 12.296

Cara menentukan F table

$df1 = k$ (variable bebas) = 1

$df2 = n - k - 1$ (9-1-1) = 7

F tabel = 5.591

Berdasarkan perhitungan diatas maka dapat disimpulkan bahwa hasil menjadi F hitung > dari F tabel, artinya **H₀** di tolak dan **H₁** terima hipotesis variabel X mempengaruhi variabel Y atau dengan kata lain nilai kekerasan berpengaruh pada nilai suhu preheat.

B. Uji T

Uji T bertujuan untuk menegetahi apakah variable bebas atau variable indepeden (X) berpengaruh terhadap variable terkait (Y).Uji T dilakukan dengan cara membandingkan t hitung dengan t tabel dengan kriteria pengujian ganda sebagai berikut :

Jika nilai t hitung positif

- t hitung > t tabel artinya H₀ ditolak H₁ diterima (berpengaruh)
- t hitung < t tabel artinya H₀ diterima dan H₁ ditolak (tidak berpengaruh)

Jika nilai t hitung negatif

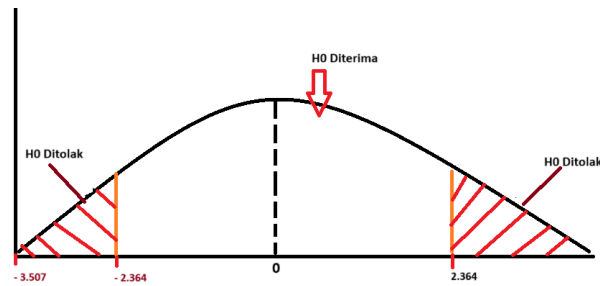
- -t hitung > -t tabel artinya H₀ ditolak H₁ diterima (berpengaruh)
- -t hitung < - t tabel artinya H₀ diterima dan H₁ ditolak (tidak berpengaruh)

Coefficients^a

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	63.492	13.185		4.815	.002
	Suhu	-.664	.189	-.798	-3.507	.010

a. Dependent Variable: Kekerasan

Gambar 5. Uji T- Koefisien



Gambar 6. Kurva Uji T

Cara menentukan T hitung bisa dilihat dari tabel Coefficients nilainya

T hitung = -3.507

Cara menentukan T table

$df1 = k$ (variable bebas) = 1

$df2 = n - k - 1$ (9-1-1) = 7

T tabel = 2.364

Berdasarkan perhitungan diatas maka dapat disimpulkan bahwa variable positif atau negatif pada kurva T adalah sebagai berikut hasilnya $-t$ hitung $>$ dari $-t$ tabel, artinya **H₀** di tolak dan **H₁** diterima hipotesis variabel X mempengaruhi variabel Y atau dengan kata lain nilai kekerasan berpengaruh dengan nilai suhu preheat.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Analisa dari hasil pengelasan pada proses weld repair dengan menggunakan suhu preheat 35⁰C,65⁰C dan 95⁰C menunjukkan indikasi adanya perbedaan pada hasil NDT, artinya weld repair (R1) dengan menggunakan suhu preheat 65⁰C hasilnya lebih optimal dengan adanya penurunan nilai score akhir 1 point di bandingkan dengan menggunakan suhu preheat 35⁰C dan 95⁰C dengan angka penurunan masing – masing score 4 points. Sehingga dapat disimpulkan bahwa pengurangan dan penambahan suhu preheat 30⁰C tidak berpengaruh terhadap hasil NDT.

Analisa hasil proses *weld repair* pada pengelasan SMAW menggunakan variasi suhu preheat 35⁰C,65⁰C dan 95⁰C terhadap hasil kekerasan menunjukkan kenaikan pada spesimen no. 1 dan 2 di *base metal* sebesar 30HV dan 39 HV, Heat Affective Zone sebesar 48 HV dan 34 HV, *Weld Metal* sebesar 25 HV dan 19 HV sedangkan pada specimen no 3 ada kenaikan pada *base metal* saja sebesar 9 HV dan ada penurunan pada lokasi *Heat affective zone* sebesar -16 HV dan *Weld metal* sebesar -7 HV .Artinya dengan

adanya proses weld repair dengan menggunakan suhu preheat 35⁰C,65⁰C menunjukan kenaikan nilai kekerasan sedangkan suhu preheat 95⁰C ada kenaikan pada base metal saja sedangkan HAZ dan weld metal mengalami penurunan pada nilai kekerasannya. Jadi semakin rendah nilai hardness pada material maka material itu akan semakin ductile(ulet) sedangkan nilai hardness semakin tinggi maka material itu akan semakin brittle (getas) sehingga material dengan daya ulet tinggi maka cocok untuk diterapkan pada proses pembuatan jembatan. Sehingga dapat disimpulkan Pengurangan suhu preheat 30⁰C akan memberikan dampak nilai kekerasan sedang dan penambahan suhu preheat sebesar 30⁰C akan mengakibatkan penurunan nilai kekerasan -16 HV.

Untuk menggunakan suhu preheat 65⁰C untuk mendapatkan hasil NDT yang baik dan menggunakan suhu preheat 95⁰C untuk mendapatkan nilai hardness yang lebih kecil. Jika melakukan pengelasan dilapangan agar menggunakan habitat atau full cover di area pengelasan untuk meminimalisir terjadinya timbul cacat las dan terkontaminasi dari lingkungan sekitarnya pada saat proses welding repair berlangsung. Memilih juru las (welder) yang baik pengetahuannya dan skill untuk menghindari terjadinya weld repair pada original weld atau pada saat melakukan proses weld repair. Melakukan record *welder repaired (weld rejection rate)* untuk mengontrol hasil kualitas welding yang sedang berjalan dan bisa menjadi barometer performance setiap juru las. Penelitian ini dijadikan referensi untuk pengembangan dalam penelitian selanjutnya di lingkungan akademik terutama di prodi Teknik perkapalan pada proses perkuliahan selanjutnya dengan menaikkan suhu 15⁰C sehingga bisa menjadi lebih baik. Penelitian ini dijadikan referensi dalam penyusunan PQR (*procedure qualification record*) dan pada saat production *weld repair* didalam dunia Industri sehingga bisa menjadi lebih efektif dan efisien dari segi kualitas,waktu dan biaya.

DAFTAR REFERENSI

- Abdulloh, M. J., Irawan, B. H., & Mutiarani, M. (2023). Pengujian Non Destructive Test dan Destructive Test WPS untuk Product Tubular Lower Leg Jacket S420 G2+ M Z35. *Prosiding Industrial Research Workshop and National Seminar*, 14(1), 88–95.
- Askar, S., Sinarep, S., & Sari, N. H. (2013). Pengaruh Preheat Dan Tempering Terhadap Kekerasan Dan Struktur Mikro Hasil Pengelasan Baja Jis Ss 400. *Dinamika Teknik Mesin*, 3(1), 16–25. <https://doi.org/10.29303/d.v3i1.84>

- Azka, A. (2020). Smaw Pada Baja Ss400 Pembuatan Supt Engine Mounting Bego Part Number Krh11000-C. In *Fakultas Teknik Universitas Pancasakti Tegal*.
- Herizal, Hasrin, & Hanif. (2020). Analisa Pengaruh Proses GTAW Dan SMAW Terhadap Ketangguhan Sambungan Pengelasan Material AISI 1050. *Journal of Welding Technology*, 2(1), 19–25. <https://www.neliti.com/publications/436342/analisa-pengaruh-proses-gtaw-dan-smaw-terhadap-ketangguhan-sambungan-pengelasan>
- Khaqiqi Muamar, Mulyo Sri Bondan, S. I. (2021). *Analisa Sifat Mekanik Baja AISI 1018 Menggunakan Preheat Treatment*. 17(2).
- Material Data sheet API 2W Grade 50. (2012). *API 2W Grade 50*. 65, 13–14.
- Pangaribowo, B. H. (2018). *Studi Pengaruh Pemanasan Awal Pada Pengelasan Ulang Baja Astm A36 Akibat Reparasi Terhadap Sifat Mekanis Menggunakan Proses Las FcaW*.
- TWI, C. 3. . (2015). *CSWIP 3.1 – Welding Inspector*. 331.
- Wicaksono, A. D. (2018). Analisa Pengaruh Preheat dan Post Heattreatment Pengelasan Kombinasi GTAW-SMAW Pada Baja Karbon Rendah Terhadap Karakteristik Sifat Mekanik dan Fisik. *Repository.Unsri.Ac.Id*.
https://repository.unsri.ac.id/15275/1/RAMA_21201_03051381320029_0010095811_01.front_ref.pdf
- Zulfadly, G. A. M. (2022). *Variasi Ampere Terhadap Kekuatan Tarik Pada Hasil Pengelasan Dengan Posisi Down Hand*. 1(1).