

ANALISIS PARAMETER PENGELASAN WPS DENGAN PARAMETER DILUAR WPS TERHADAP HASIL NDT DAN DT PROSES SMAW PADA MATERIAL API 2W GRADE 50

Nicxon Octavian

¹Program Studi Teknik Metalurgi, Fakultas Teknologi dan Desain, Institut Teknologi Sains Bandung
nicxonoctavian13@gmail.com

Abstrak

Parameter-parameter yang tepat untuk menghasilkan hasil pengelasan yang sesuai dengan yang diharapkan, semua aspek-aspek tersebut disatukan dalam Welding Procedure Specification (WPS) sebagai panduan untuk Welder (tukang las) dalam melakukan proses pengelasan agar hasil pengelasan sesuai dengan yang telah direncanakan WPS hanya berlaku untuk satu spesifikasi material.

Dalam pembuatan *Jacket, Module, Platform* lepas pantai maupun komponen *WellHead* lainnya sering terjadi pengelasan yang tidak mengikuti prosedur pengelasan (WPS) yang telah ditetapkan sebagai standar acuan dalam melakukan pengelasan. Hal ini mengakibatkan pengaruh besar terhadap hasil NDT dan DT nya hanya di karenakan seorang welder yang tidak mengikuti parameter yang ada di dalam WPS.

Dalam penelitian ini jika di kalkulasikan 81% parameter pengelasan diluar dari WPS yang mana heat input dari parameter tersebut cukup tinggi dengan nilai 3.5 Kj/mm pada saat root pass, 2.74 Kj/mm pada saat filler pass, dan 2.86 Kj/mm pada saat capping pass sehingga dapat disimpulkan bahwa sifat dari hasil pengelasan tersebut adalah (Low Toughness) yang menyebabkan kegagalan pada saat charpy test.

Kata kunci: *WPS, Destructive Test, Non Destructive Test, API 2W Grade 50*

Abstract

Precise parameters to produce welding results as expected. All of these aspects are put together in the Welding Procedure Specification (WPS) as a guide for the Welder (welder) in carrying out the welding process so that the welding results are in accordance with what has been planned. WPS only applies to one material specification.

In the manufacture of Jackets, Modules, Offshore Platforms and other WellHead components, welding often occurs that does not follow the welding procedure (WPS) that has been set as a reference standard in welding. This resulted in a major influence on the results of the NDT and DT only because a Welder did not follow the parameters in the WPS.

In this study, 81% of the welding parameters were calculated outside of the WPS where the heat input of these parameters was quite high with a value of 3.5 Kj/mm during the root pass, 2.74 Kj/mm during the filler pass, and 2.86 Kj/mm during capping. pass so that it can be concluded that the nature of the welding results is (Low Toughness) which causes failure during the charpy test.

KEY WORDS: WPS, Destructive Test, Non Destructive Test, API 2W Grade 50

PENDAHULUAN

Dalam pembuatan *Jacket, Module, Platform* lepas pantai maupun komponen *WellHead* lainnya sering terjadi pengelasan yang tidak mengikuti prosedur pengelasan (WPS) yang

telah ditetapkan sebagai standar acuan dalam melakukan pengelasan. Hal ini mengakibatkan pengaruh besar terhadap hasil NDT dan DT nya hanya di karenakan seorang Welder yang tidak mengikuti

parameter yang ada di dalam WPS. Untuk mengatasi hal tersebut perlu dilakukan pengecekan dan monitoring terhadap welder pada saat pengelasan yang mengikuti parameter WPS dan yang tidak mengikuti parameter WPS sehingga dapat di bandingkan hasil NDT dan DT nya.

Proses pengelasan (*welding*) merupakan salah satu proses penyambungan material (*material joining*). Adapun untuk definisi dari proses pengelasan yang mengacu pada AWS (*American Welding Society*), proses pengelasan adalah proses penyambungan antara metal atau non-metal yang menghasilkan satu bagian yang menyatu, dengan memanaskan material yang akan disambung sampai pada suhu pengelasan tertentu, dengan atau tanpa penekanan, dan dengan atau tanpa logam pengisi. Meskipun dalam metode proses pengelasan tidak hanya berupa proses penyambungan, tetapi juga bisa berupa proses pemotongan dan brazing. Proses pengelasan dibedakan menjadi beberapa jenis, dan SMAW merupakan salah satu proses pengelasan yang umum digunakan, utamanya pada pengelasan singkat dalam produksi, pemeliharaan dan perbaikan, dan untuk bidang konstruksi.

Proses pengelasan dengan metode SMAW dibedakan berdasarkan jenis arusnya meliputi arus AC dan DC, dimana arus DC dibedakan atas DCEN (*Direct Current Electrode Negative*) dan DCEP (*Direct Current Electrode Positive*) Perbedaan antara SMAW dengan arus AC dan DC adalah sebagai berikut.

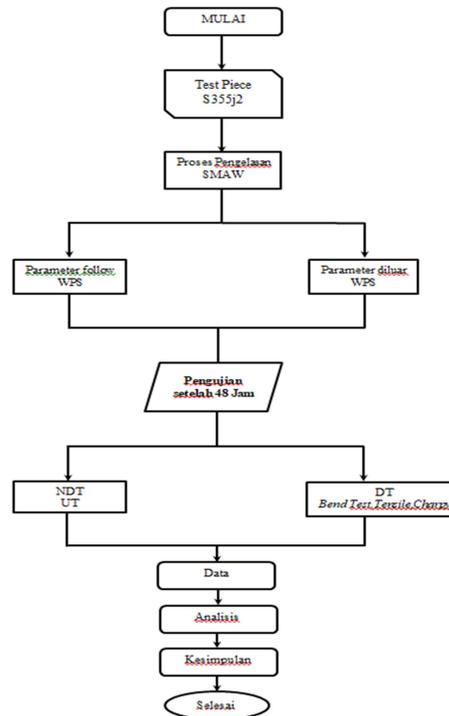
Untuk arus AC (*Alternating Current*), pada *voltage drop* panjang kabel tidak banyak pengaruhnya, kurang cocok untuk arus yang lemah, tidak semua jenis elektroda dapat dipakai, *arc starting* lebih sulit terutama untuk diameter elektrode kecil, pole tidak dapat dipertukarkan.

DC (*Direct Current*), *voltage drop* sensitif terhadap panjang kabel sependek mungkin, dapat dipakai untuk arus kecil dengan diameter elektrode kecil, semua jenis elektrode dapat dipakai, *arc starting* lebih mudah terutama untuk arus kecil, pole dapat dipertukarkan, *arc bow* sensitif pada bagian

ujung, sudut atau bagian yang banyak lekukanya.

METODOLOGI PENELITIAN

Diagram Alir



Studi Literatur

Studi literatur dilakukan untuk menunjang dalam proses pembuatan tugas akhir dengan mencari materi dan informasi mengenai penelitian yang akan dilakukan dan memudahkan dalam menentukan proses yang akan dilakukan selama penelitian. Studi literatur didapat dari jurnal-jurnal serta buku-buku.

Persiapan Sampel

Sampel dari test piece yang digunakan pada penelitian ini adalah baja API 2 W grade 50 di potong menjadi 4 bagian dengan dimensi $25 \times 300 \times 200$ kemudian dilakukan *tack weld* dan di pasang *strong back* dibagian belakang agar tidak terjadi *distortion* seperti pada gambar berikut.



Gambar 1 Test Piece

Proses Pengelasan

Dari 2 sampel *test piece* material dilakukan pengelasan menggunakan proses SMAW dan dibuatkan *runsheets* parameter nya agar parameter yang terbaca actual dan akurat. Proses pengelasan dilakukan menggunakan mesin las Lincoln Electric, seluruh parameter yang digunakan akan di *record* parameter nya untuk mengetahui *Heat Input* yang dihasilkan dari pengelasan sample 1 dan sample 2. Pengelasan menggunakan elektroda TENAX 88S untuk *root pass* dan elektroda TENAX 70 pada saat *hot pass, fill pass, capping pass* dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 2 Proses Pengelasan

Prosedur Pengelasan

Parameter pengelasan yang digunakan pada sampel *test piece* 1 yang mengikuti parameter WPS akan di *record* setiap *pass* nya untuk memastikan parameter tersebut benar dan mengikuti WPS yang telah di tentukan parameternya.

Setiap *pass* yang di *record* akan di cek menggunakan clamp ampere untuk kuat arus dan voltase yang digunakan dan akan di catat ke dalam *runsheets*.

Parameter sample 2 menggunakan parameter di luar WPS yang juga di *record* setiap *pass* dan dicek menggunakan clamp ampere hasil dari pengecekan dan *record* tersebut juga di catat ke dalam *runsheets* untuk menjadi acuan parameter dari WPS.

Prosedur Pengujian NDT (Ultrasonic)

Pada proses NDT UT yang akan dilakukan untuk memastikan tidak ada nya discontinuitas pada kedua sampel *test piece*, UT monitor menggunakan merk equipment merk krautkramer USM 36L dengan probes

0°, Twin Crystal Ø10mm, 4Mhz, 45 Single Crystal Ø10mm dengan couplant metylen dapat dilihat pada gambar 3 berikut.



Gambar 3 UT equipment

Prosedur Pengujian DT

1. Tensile Test

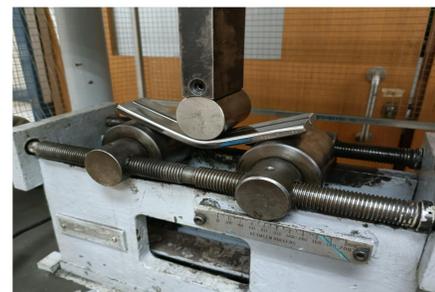
Setelah Proses pengujian NDT selesai selanjut nya adalah proses pengujian DT tensile test atau uji kekuatan tarik yang akan digunakan untuk mengetahui ductility dari hasil test kedua sampel equipment yang digunakan adalah Universal Testing Machine 1000kN Type : WAW-1000E Rubicon dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 4 Mesin Tensile test

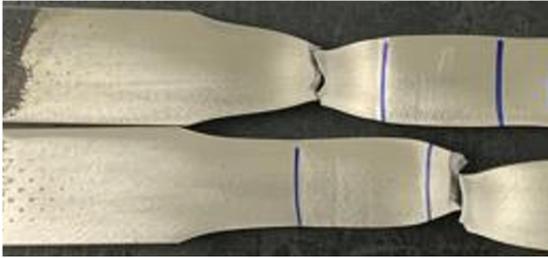
2. Bending Test

Bending Test dilakukan di *root bend* dan *face bend* dari kedua sampel untuk mengetahui ada nya discontinuitas dari *root pass* dan *capping pass* pengujian dilakukan menggunakan equipment Universal Testing Machine.



Hasil Pengujian DT

Pengujian tarik dilakukan untuk mengetahui nilai kekuatan tarik yang diperoleh pada sambungan pengelasan, dengan mengacu pada standar AWS D1.1 dan Test methode ASTM E8/E8M 2021, hasil yang di dapatkan accepted dengan nilai UTS 569 N/mm, failure location berada di base metal dan untuk type failure nya adalah ductile, dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 9 Hasil pengujian tensile test

Tabel 2 Data hasil tensile test

SPECIMEN NUMBER	T1	T2
Measured Thickness (mm)	22,53	23,91
Measured Width (mm)	20,00	20,05
Effective Area (mm ²)	450,6	479,4
Ultimate Tensile Load (kN)	256,33	269,4
Ultimate Tensile Strength(N/mm ²)	569	562
Location Failure	Base Metal	Base Metal
Type of Failure	Ductile	Ductile

Dilihat dari hasil kekuatan tarik yang diperoleh pada specimen *top* dan *bottom* lebih besar dari minimum kekuatan tarik pada material yang dimana nilai minimum kekuatan tariknya adalah 569 N/mm². Kedua hasil specimen *top* dan *bottom* juga mendapatkan nilai yang tidak terlalu signifikan bedanya, specimen dikatakan lolos uji / *acceptance criteria*. specimen mengalami patah ulet dan *fracture* terjadi pada daerah *base metal*. Patahan di daerah pengelasan terjadi karena *filler metal* dan *base metal* yang berbeda. Penyebab dari patahan yang terjadi pada *weld metal* karena kekuatan tarik *filler metal* lebih besar dibandingkan *base metal* Tetapi masih masuk kriteria berdasarkan ASME IX maka terjadilah patahan di *base metal* karena pada material tersebut sudah mencapai kekuatan tariknya.

Pengujian *bending* dilakukan dengan mengacu pada standar AWS D1.1, dengan tipe *transverse bending* yang mengacu pada standar AWS D1.1 dan prosedur methode

pengujian mengacu pada standar ASTM E190-2021 dengan hasil *accepted no discontinuity observed*. Hasil dari pengujian *bending* ditunjukkan pada gambar berikut



Gambar 10 Hasil pengujian bend test

Pengamatan pengujian *bending* bertujuan untuk mendapatkan nilai keuletan material. Dalam proses pengujian *bending* dilakukan dengan metode *guided bend test*, dengan posisi spesimen uji adalah *side bending*. Penggunaan posisi *side bending* digunakan pada meterial dengan ketebalan 10 mm atau lebih. Data yang diperoleh dari hasil pengujian *bending* adalah tidak ditemukan cacat / *defect* pada sambungan pengelasan atau pada *weld metal*. Sehingga sambungan hasil proses pengelasan yang dilakukan adalah lulus kriteria.

Pengujian impak Charpy (juga dikenal sebagai tes Charpy v-notch) merupakan standar pengujian laju regangan



tinggi yang menentukan jumlah energi yang diserap oleh bahan selama terjadi patahan. Energi yang diserap adalah ukuran ketangguhan bahan tertentu dan bertindak sebagai alat untuk belajar bergantung pada suhu transisi ulet getas. Pengujian di lakukan mengacu pada test methode ASTM E23-

2018 dengan suhu -40° . Dapat dilihat Hasil pengujian charpy yang telah dilakukan .

Gambar 11 Hasil pengujian charpy test

Tabel 3 Data hasil pengujian charpy

Lokasi v-notch	Ukuran Spesimen (mm)	Temperatur ($^{\circ}$ C)	Nilai Impak (J)			Rata-rata (J)
			1	2	3	
WM	10 x 10 x 55	- 40	100	100	112	104
FL			192	165	226	194
FL+2			51	53	63	125
FL+5			67	61	142	90

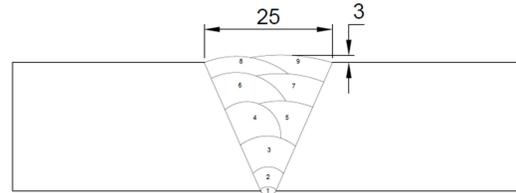
Pada pengujian impak menggunakan metode *charpy*, bertujuan untuk mengetahui banyaknya energi yg masuk pada material saat diberikan beban secara tiba-tiba Intinya pengujian charpy bertujuan untuk mengetahui ketangguhan suatu material data dari hasil penelitian diketahui ada perbedaan nilai ketangguhan dari berbagai daerah v-notch dan 3 spesimen pada setiap daerahnya. yaitu daerah WM, FL, FL+2, FL+5.

Dari hasil pengujian yang dilakukan perpatahan pada spesimen uji impak pada daerah WM (Weld Metal) dimana pada daerah ini material terjadi patahan ulet patah ulet ini ditandai dengan adanya serat-serat pada sekitar patahan,berwarna kelabu dan juga bentuk patahannya terdapat pengecilan pada daerah patahan, proses pengelasan mengakibatkan terjadinya penurunan sifat mekanik logam hasil las khususnya ketangguhan impak dari logam induknya. Sedangkan masukan panas (heat input) berpengaruh terhadap laju pendinginan pada proses pengelasan yang sangat mempengaruhi sifat fisikdan mekanik logam las, hasil peneliatian charpy dengan parameter mengikuti WPS dinyatakan *pass*.

Hasil pengelasan diluar parameter WPS

Pengelasan menggunakan parameter diluar WPS adalah pengelasan yang di lakukan oleh welder yang tentu nya qualified di bidang nya namun menggunakan parameter yang menurut feeling dari welder tersebut tanpa harus mengikuti prosedur yang ada, secara keseluruhan parameter yang di gunakan welder tersebut juga akan di record ke dalam runsheet oleh welding monitor sehingga dapat menjadi pembanding dengan parameter yang mengikuti WPS

jumlah layer/pass adalah 9 selisih 4 pass dengan test piece 1 dapat di lihat pada gambar berikut untuk *pass/layer* yang di hasilkan dari test piece 2 .



Gambar 12 Pengelasan test piece 2

Hasil pengelasan dengan parameter di luar WPS pada test piece 2 menghasilkan jumlah layer lebih sedikit yaitu sebanyak 9 layer/pass, yang artinya pengelesan lebih cepat selesai di dibandingkan dengan test piece 1 yang menghasilkan jumlah layer sebanyak 13 layer/pass.

Tabel 3 Runsheet Parameter

NO	Pass	Electrode Diameter (mm)	Amperage		Voltage		Current Polarity	Travel Speed (mm/min.)	Heat Input (KJ/mm)	
			Min.	Max.	Min.	Max.			Min.	Max.
1	Root	2,5	82	97	23	25	DCEN	33-41	3,4	3,5
2	H.Pass	2,5	115	123	23	25	DCEP	65-73	2,44	2,52
3	Fill	3,2	129	135	23	25	DCEP	67-75	2,65	2,7
4	Fill	3,2	131	137	24	26	DCEP	77-78	2,44	2,74
5	Fill	3,2	133	139	24	26	DCEP	80-82	2,39	2,64
6	Fill	3,2	135	141	25	27	DCEP	90-94	2,25	2,43
7	Fill	3,2	145	151	26	27	DCEP	89-93	2,54	2,63
8	Cap	3,2	151	157	27	28	DCEP	90-93	2,71	2,83
9	Cap	3,2	152	157	27	28	DCEP	89-92	2,76	2,86

Heat input tertinggi terjadi pada saat root pass dengan nilai 3,5 KJ/mm yang mana lebih tinggi di dibandingkan dengan test piece 1 , travel speed yang lambat oleh welder di maksudkan untuk kecepatan dalam pengisian groove dimana travel speed sebagai pembagi menjadikan rata-rata heat input untuk test piece 2 dipastikan berada di luar dari WPS.

Hasil pengujian NDT (Ultrasonic)

Test piece 2 dengan parameter pengelasan yang tidak mengikuti WPS menghasilkan pulse yang juga rendah sehinggat terlihat tidak melebihi batas gelombang nya dan hasil accepted.

Line No			TEST PROC	2024-04-04-04-03-0001 Test 02
Class Code	NA	Operator	Wider	
Equipment Details	Model: JEM 31.12000704.003	Ref Book	PTM/UT/005	
Calibration Book	17-201905	Ref Meter	3.0m 5Ch	
Probe Details				
Probe Applied No	Frequency/Size	PRC	%	Scanning #
01eq-0234	50Hz 20mm	41.000	100	148
01eq-0234	50Hz 20mm	31.400	100	148
01eq-0103	50Hz 20mm	34.000	100	148
01eq-0103	50Hz 20mm	47.400	100	148
BEVEL	DIMENSIONS	SPEC	--- TEST ---	
CONF.	(mm)	WELD DATE	CODE	TECH % REMARK
001	CS TWP-02 Pa Pa	2024 07	UTR	00 00

Gambar 13 Report UT

Hasil Pengujian DT

Pengujian tarik dilakukan untuk mengetahui nilai kekuatan tarik yang diperoleh pada sambungan pengelasan. Kekuatan tarik (Tensile Strength, Ultimate tensile Strength) adalah tegangan maksimum yang bisa ditahan oleh suatu bahan ketika mengalami pembebanan. Kekuatan tarik dapat dicari dari titik tertinggi dari diagram tegangan regangan. Pada pengujian tesile test di test piece 2 mengacu pada standar AWS D1.1 dan Test methode ASTM E8/E8M 2021, sama seperti test piece 1 hasil yang di dapatkan accepted dengan nilai UTS 559 N/mm, failure location berada di base metal dan untuk type failure nya adalah ductile, dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 14 Hasil pengujian tensile test

Tabel 4 Data hasil tensile test

SPECIMEN NUMBER	T1	T2
Measured Thickness (mm)	23,51	22,91
Measured Width (mm)	20.71	19.90
Effective Area (mm ²)	457,9	463,3
Ultimate Tensile Load (kN)	246,31	259,1
Ultimate Tensile Strength(N/mm ²)	559	555
Location Failure	Base Metal	Base Metal
Type of Failure	Ductile	Ductile

Dapat dilihat dari tabel di atas pada test piece 2 dengan parameter di luar WPS, kekuatan

tarik (UTS) yang di dapat adalah 559 N/mm² lebih kecil di dibandingkan dengan test piece 1, pengujian ini dinyatakan accepted. Dengan type failure yang ductile dan berlokasi sama di area base metal, dan tidak terlalu jauh perbedaan antara kedua sample dari sebelumnya untuk pengujian uji tarik.

Pengujian *bending* dilakukan dengan mengacu pada standar AWS D1.1, dengan tipe *transverse bending* yang mengacu pada standar AWS D1.1 dan prosedur methode pengujian mengacu pada standar ASTM E190-2021 dengan hasil accepted no discontinuity observed sama dengan test piece 1. Hasil dari pengujian *bending* ditunjukkan pada gambar berikut.



Gambar 15 Hasil pengujian bend test

Pengujian impak Charpy (juga dikenal sebagai tes Charpy v-notch) merupakan standar pengujian laju regangan tinggi yang menentukan jumlah energi yang diserap oleh bahan selama terjadi patahan. Pengujian impak dilakukan untuk mengetahui perbedaan ketangguhan bahan yang mengalami yang mengalami perlakuan pengelasan dengan logam induk, Pengujian di lakukan mengacu pada test methode ASTM E23-2018 dengan suhu -40°, Dapat dilihat Hasil pengujian charpy yang telah dilakukan.



Gambar 16 Hasil pengujian charpy

Tabel 5 Data hasil pengujian charpy

Lokasi	Ukuran Spesimen (mm)	Temperatur (°C)	Nilai Impak (J)			Rata-rata (J)
			1	2	3	
v-notch						
WM	10 x 10 x 55	-40	99	100	95	98
FL			135	151	163	149
FL+2			36	27	63	45
FL+5			67	15	142	75

Dari hasil data di atas pengujian charpy pada test piece 2 juga mengalami patah ulet sama seperti test piece 1 yang di tandai dengan adanya serat-serat pada area tersebut nilai dari pengujian mengalami perbedaan dimana pada pengujian test piece 2 mengalami penurunan, hal ini disebabkan proses pengelasan dengan parameter diluar wps yang menyebabkan heat input terlalu tinggi sehingga nilai impak(J) berkurang dapat dilihat pada parameter pengelasan test piece 2 travel speed yang cukup lambat oleh welder dengan maksud mempercepat pengisian sehingga deposit weld bertambah, juga ampere yang cukup besar untuk meningkatkan deposition rate dari electrode nya menghasilkan heat input yang tinggi.

Dikarenakan heat input yang tinggi menghasilkan ketangguhan material yang rendah (Low toughness). Oleh karena itu hasil pengujian charpy test pada test piece 2 tidak memenuhi dalam acceptance criteria dapat dilihat pada tabel FL+2 dan FL+5 dengan ciriteria dari pengujian adalah 50J untuk average value dan 35J single value sehingga test piece 2 dinyatakan failed untuk pengujian charpy.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang dilakukan pada penelitian analisis parameter pengelasan WPS terhadap hasil NDT dan DT proses smaw pada material API 2W grade 50 adalah sebagai berikut:

1. Pengelasan mengikuti WPS menghasilkan lebih banyak layer/pass yaitu sebanyak 13 layer/pass dengan heat input lebih kecil di bandingkan dengan test piece 2 dimana heat input lebih besar.
2. Pengelasan dengan parameter diluar WPS menghasilkan layer/pass lebih sedikit yaitu sebanyak 9 pass dapat

disimpulkan kecepatan pengerjaannya lebih cepat dibandingkan dengan test piece 1 (high productivity).

3. Hasil pengujian NDT mendapatkan hasil pass/accepted di kedua test piece dengan hasil Amplitude response di bawah 50%, sehingga dapat disimpulkan parameter tidak terlalu berpengaruh terhadap hasil pengujian NDT *Ultrasonic Testing*.
4. Hasil pengujian DT (Tensile Test, Bend Test, Charpy Test) mendapatkan hasil accepted pada test piece 1 dengan nilai UTS 569 N/mm, No discontinuity pada bend test, dan dengan nilai rata-rata di atas 50J pada saat charpy test, oleh karena itu dapat disimpulkan bahwa parameter pengelasan mengikuti WPS menghasilkan kualitas yang baik untuk mechanical test nya.
5. Hasil pengujian DT (Tensile Test, Bend Test, Charpy Test) pada test piece 2 mendapatkan hasil failed pada saat charpy test dengan nilai rata-rata kurang dari 50J yang berlokasi di area FL+2 dan FL+5 hal ini menunjukkan heat input yang tinggi berpengaruh pada ketangguhan hasil pengelasan (Low toughness) yang menyebabkan hasil failed pada saat charpy test.

Saran

1. Melakukan pengujian Radiography untuk hasil dapat di rekam dan lebih specific.
2. Melakukan pengujian DT yang lain seperti macro,micro untuk dapat membandingkan hasil dari kedua struktur micro dari kedua sample.
3. Melakukan pengujian DT yang lain seperti hardness test untuk mengetahui hasil kekerasan dari kedua sample.

DAFTAR PUSTAKA

Rudi Suhradi Rachmat, Lydia Anggraini, Wandesmoni Sihotang, Kei Ameyama. "Analysis of Welding Procedure Specifications for steel line pipe material"

- SINERGI Vol.26 .2022 . doi :
10.22441/sinergi.2022.3..
- S.P. Tewari, Ankur Gupta, Jyoti Prakash. 2010. “ Effect of Welding Parameters on the weldability of Material” *International Journal of Engineering Science and technology*.
- Indah Purmayanti, Kurniawati Oktarina. 2020 “Aplikasi WPS dengan bevel 300 untuk pengelasan konstruksi kapal tanker 3500 LTDWHN.309 pada uji bending di PT. Daya Radar Utama Unit III Lampung” *Distilasi* , Vol.5
- Izzatul, Syarul, Amalina, Abdul, Ghalib. 2012. “The Effect of Gas Metal Arc Welding process on different welding parameters”. *40450 Selangor*.
- Wijoyo, Bayu Indriyanto. 2016. “Pengaruh masukan panas (Heat Input) terhadap ketangguhan impak sambungan las” *Jurnal Simetris* , Vol.7
- Bintoro, A. G. 2000. *Dasar-dasar Pekerjaan Las*. Yogyakarta: Kanisius
- G. Atkins, D. Thiessen, N. Nissley and Y. Adonyi. 2002 . “Welding process effect in weldability testing of steels . *Welding research*
- Ahmad, Nely, Mufarida, Kosjoko. 2019 “Pengaruh Penerapan WPS Al6005 Tipe Butt joint terhadap kekuatan sambungan las Al 6061. *Jurnal Fakultas Teknik*
- Jl. Jend. Gatot Subroto Kav. 51 Lt.6A Jakarta Selatan. 2018. “ Mengidentifikasi Welding Procedure Specification”.
- M.Brown , D. Wright, R. M Saoubi , J.Mcgourlay, M. Wallis , A. Mantle, P. Crawford , H. Ghadbeigi. 2018 . “Destructive and non-Destructive testing methods for characterization and detection of machining induced white layer : A review Paper”. *CIRP Journal of manufacturing science and technology*
- T Endramawan , A Sifa . 2018. “ Non Destructive Test Dye Penetrant and Ultrasonic on Welding SMAW butt joint with Acceptance Criteria ASME Standard”. *Material Science and Engineering*
- S A Sazonova . 2021 “Weld Defects and automation of method for their detection” . *Journal of physics : conference series*
- S. Gholizadeh . 2016 . “A review of non-destructive testing methods of composite materials” . *Selangor Malaysia*
- Sylvain Chatillon, Gerard Cattiaux, Marc serre, Olivier Roy . 2000. “Ultrasonic non-destructive testing of pieces of complex geometry with flexible phased array transducer” *Institute de protection et surete Nuclaire , France*
- The staff of Hobart Institute of Welding Technology . 2010 . “Destructive Testing Methods” *Hobart institute of welding technology*