

Analisa cacat pengelasan SMAW pada material ST 45 menggunakan uji partikel magnetik dan ultrasonic test

Firdaus Sulaiman, A. Jannifar, Bukhari,

Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Lhokseumawe

Jl. Banda Aceh-Medan Km.280 Buketrata

Email : firdaussulaiman3198@gmail.com

Abstrak

Tujuan dari penelitian ini untuk mendapatkan perbedaan pengaruh lebar cacat terhadap perkumpulan serbuk partikel magnetik, pengaruh kedalaman cacat terhadap perkumpulan serbuk magnetik partikel, dan untuk mengetahui seberapa kemampuan yoke AC dalam mendeteksi cacat dalam permukaan. Dengan cacat buatan jenis *Incomplete Penetration (IP)* dengan variasi root gap=0.05 mm, root gap=0.10 mm, dan root gap 0.15 mm, yang menggunakan uji magnetik partikel dengan metode basah. Plat yang di gunakan dalam penelitian ini adalah plat St45 dengan parameter plat $250 \times 150 \times 5$ mm. Dari hasil penelitian ini didapat bahwa yoke AC hanya mampu mendeteksi kedalaman cacat pada kedalaman ± 0.8 mm dan perkumpulan serbuk magnetik partikel di pengaruhi oleh lebar cacat dan kedalaman cacat pengelasan pada specimen.

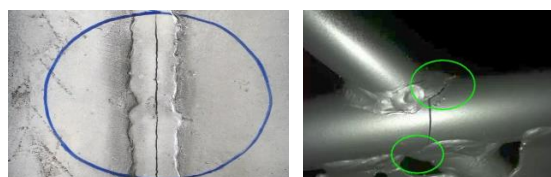
Kata kunci: Non Destructive Testing, Magnetic particle inspection, yoke, ST 45, ultrasonic test.

1 Pendahuluan

1.1 Latar Belakang

Pengelasan merupakan suatu proses penting di dalam dunia industri dan merupakan bagian yang tak terpisahkan dari pertumbuhan industri, karena memegang peranan utama dalam rekayasa dan reparasi produksi logam. Pengelasan adalah proses penyambungan setempat antara dua bagian logam atau lebih dengan memanfaatkan energi panas.

Proses pengelasan sering kali muncul berbagai permasalahan yaitu ketidak sempurnaan dalam proses penyambungan seperti retak (*crack*), jika keretakan pada suatu proses pengelasan tidak secepatnya diketahui dan dilakukan proses perbaikan, maka pada area tersebut akan memunculkan keretakan yang semakin meluas sehingga memungkinkan untuk patah yang menyebabkan kerugian. Umumnya retak yang terjadi seringkali didapati pada daerah *toe* dan permukaan alur las. Munculnya retak pada daerah tersebut bisa terjadi karena kesalahan manusia (*human error*) dalam proses pengelasan atau terjadi tanpa disadari akibat adanya penerimaan beban secara terus-menerus Seperti pada Gambar (a) dan (b)



Gambar 1. Cacat pada hasil lasan. (a) Retak pada lasan dan (b) Patah pada hasil lasan

2. Tinjauan Pustaka

2.1. Pengujian *Radiografi Test* Pada Dua Buah Pipa Yang Disambung Membentuk Sambungan T

Penelitian ini dilakukan untuk mendapatkan ekstraksi ciri cacat pengelasan pada citra digital film *radiografi* dengan menggunakan metode *geometric invariant moment* dan *statistical texture*. Nilai ekstraksi ciri ini dapat dimanfaatkan sebagai nilai yang digunakan dalam melakukan klasifikasi dan pengenalan pola cacat pada interpretasi cacat pengelasan citra digital film *radiografi* secara otomatis oleh komputer.[1]. Pengelasan adalah salah satu cara menyambungkan dua buah logam dengan cara mencairkan kedua logam menggunakan energi panas. Metode pengelasan yang digunakan pada penelitian ini yaitu dengan proses *Shielded Metal Arc Welding (SMAW)*. [2].

2.2 Pengujian Partikel Magnetik Pada Lambung Kapal

Dalam proses pembangunan kapal baru maupun reparasi, pengelasan merupakan salah satu pekerjaan utama yang memiliki peran penting. Namun dalam proses pengerjaannya sering sekali terjadi ketidak sempurnaan seperti retak (*crack*) akibat faktor manusia maupun lingkungan. Retak yang terjadi tersebut sering sekali tidak disadari bahkan sesaat setelah dilapisi *coating*. Salah satu metode yang bisa digunakan untuk mengetahui retak tersebut yaitu menggunakan metode *Magnetic Particle Inspection (MPI)*. [3].

2.3 Pengujian Ultrasonic Test Pada Pipa

cacat (*Diskontinuitas*) pada material dapat disebabkan oleh rusaknya struktur *mikroskopik* maupun *makroskopik* pada material dan tidak dapat *diinspeksi* secara visual. Uji tidak merusak merupakan salah satu pengujian pada material tanpa merusak material tersebut, sehingga dapat bertindak sebagai kendali kualitas dimana cacat dari material dapat dicegah sejak dini. [4]

2.4 Pengujian Penetran Test Pada Material Mild Steel dan Material ST37

Tujuan dari penelitian ini adalah menentukan spesimen uji tersebut bisa diterima berdasarkan *acceptance criteria* ASME. Penelitian ini menggunakan material *mild steel* dengan nilai kekerasan 135 HVN dengan ukuran 30 cm x 20 cm x 1,2 cm yang disambungkan dengan proses pengelasan SMAW posisi 3G *butt joint* dengan elektroda *rooting* LB 52U diameter 2.6 mm menggunakan arus 70 Amper dan tegangan 380 volt, sedangkan untuk *filler* menggunakan elektroda LB 5218 diameter 3,2 mm dengan arus 80 Amper dan tegangan 380 volt. [5]. Semakin maju perkembangan teknologi dibidang konstruksi mesin dalam hal rekayasa dan reparasi logam tidak dapat dipisahkan lagi dari proses pengelasan, Pengelasan adalah salah satu teknik penyambungan logam dengan cara mencairkan logam induk dan logam pengisi dengan atau tanpa logam penambah yang menghasilkan logam yang kontinyu. [6].

2.5 Pengujian Eddy Current Testing Pada Baja ASTM A533B dan A471

investigasi eksplorasi dilakukan untuk mengevaluasi penerapan teknik evaluasi *non destructive test eddy current* mutakhir dengan karakterisasi tekanan yang diterapkan dan residu pada baja struktural. Respon arus *Eddy versus* pengukuran tegangan dikembangkan untuk baja

ASTM Type A533B dan A471 dengan daya tarik, kondisi pemuatan lentur dan tegangan sisa. Spesimen "*shrink fit*" digunakan untuk membangun kemampuan untuk tegangan sisa. [7]

3 Metodologi

3.1 Waktu dan Tempat

Waktu penelitian ini dilakukan di Laboratorium *Non Destructive Test (NDT)* selama waktu lebih kurang 6 minggu. Tempat proses pembentukan spesimen pengelasan dengan pengujian *magnetic partikel test* dan *ultrasonic test* dilakukan di Laboratorium Pengelasan Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Lhokseumawe.

3.2 Alat dan Bahan

Bahan dan alat untuk penelitian ini dapat di lihat pada table 1

Tabel 1. Alat dan Bahan

No	Alat	No	Bahan
1	Mistar Baja	1	Plat Baja St 45
2	Gerinda	2	Elektroda Las
3	Transformator Las SMAW	3	<i>Cleaner/Remover</i>
4	Alat <i>Ultrasonic Test</i>	4	WCP-2
5	<i>Yoke</i>	5	Magnetik partikel basah 7HF IMP INK
6	<i>Feeler Gauge</i>		

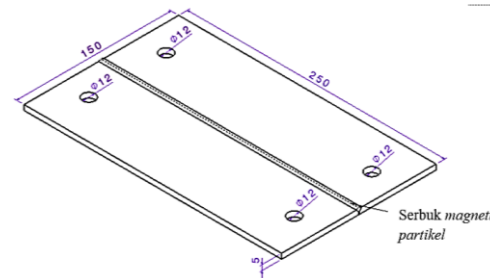
3.3 Proses Produksi

3.3.1 Langkah-langkah Pembuatan Spesimen Pengelasan

Proses pembentukan specimen pengelasan dari material plat baja St 45 dapat dilihat sebagai berikut:

1. Sediakan 1 lembar plat dengan tebal 5 mm;
2. Memotong plat menjadi dua bagian dengan ukuran masing-masing 5mm x 75mm x 250mm;
3. Pengeboran;
4. Arus pengelasan 50 Ampere;
5. Elektroda AWS E6013 dengan diameter 2,6 mm;
E = Elektroda.

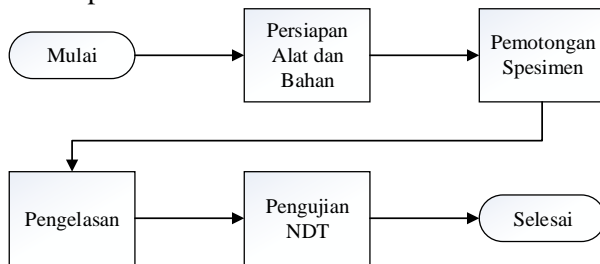
- 60 = Kekuatan tarik 60000 psi.
 - 1 = Dapat di gunakan semua posisi (1G = flat, 2G = horizontal 3G = vertical dan 4G = overhead).
 - 3 = Penetrasi las sedang, daya AC/DC, kandungan selaputnya serbuk besi 25% - 40% hydrogen rendah.
6. Las kedua plat menjadi satu



Gambar 3. pengaplikasian serbuk magnetik partikel

3.3.2 Diagram Pembentukan specimen pengelasan

Proses pembentukan specimen pengelasan, dengan variasi root gap=0.05 mm, root gap=0.10 mm, dan root gap=0.15 mm. dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. langkah Pembuatan Komposit polimer

3.4 Proses Pengujian

Proses pengujian dan prosedur pengujian *magnetic partikel test* pada specimen pengelasan dapat dilihat sebagai berikut:

1. *Cleaning*. Kondisi permukaan harus di perhatikan, permukaan harus kering dan bersih dari segala macam kotoran yang kiranya dapat mengganggu proses inspeksi seperti karat, oli/gemuk, debu dll.
2. *Apply WCP-2*. Aplikasikan WCP-2 pada permukaan benda uji agar warna kontras dari wcp-2 bisa memperjelas perkumpulan dari serbuk magnetic partikel.
3. *Apply AC Yoke*. Nyalakan AC yoke, lalu benda kerja mulai di magnetisasi, magnetisasi benda uji dimaksudkan agar benda uji dapat menarik serbuk ferromagnetik yang nantinya serbuk ferromagnetik tersebut akan mendeteksi adanya cacat pada benda uji tersebut.
4. *Apply Wet Visible*. Aplikasi serbuk magnet disesuaikan dengan keadaan permukaan pada benda uji. Serbuk magnet yang digunakan adalah type basah. Seperti pada Gambar 3.2.

5. *Inspection*. Dimaksudkan untuk meneliti bentuk cacat yang terdapat pada benda uji. Selain itu juga dari hasil pengevaluasian kita akan dapat menentukan apakah benda uji harus di perbaiki atau tidak.
6. *Demagnetisasi*. Demagnetisasi dilakukan dengan maksud untuk menghilangkan sisa sifat magnet yang terdapat pada benda uji agar benda uji tersebut tidak akan dapat menarik serbuk-serbuk besi yang nantinya akan menyulitkan proses pembersihan.
7. *Post cleaning*. Post cleaning dimaksudkan untuk membersihkan benda uji dari sisa-sisa dari pemberian serbuk magnetik pada saat pengujian.

4. Hasil dan Pembahasan

4.1 Hasil Penelitian dan Pembahasan

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kemampuan *Yoke AC* dalam mendeteksi cacat bawah permukaan dan untuk mengetahui pengaruh lebar cacat (*crack*) terhadap perkumpulan serbuk *magnetic partikel test* yang menggunakan metode basah. Dengan jenis cacat buatan *Incomplete Penetration* dan membuat variasi root gap=0.05 mm, root gap=0.10 mm dan root gap=0.15 mm yang menggunakan *Feeler Gauge* untuk mengukur celah root gap pada spesimen.

4.2 Hasil Data Pengujian *Magnetic Partikel Test* Pada Spesimen

Hasil Data Pengujian *Magnetik Partikel Test* pada specimen pengelasan dapat di bedakan dengan tiga variasi root gap. Orientasi root gap=0.05 mm, root gap=0.10 mm, dan 0.15 mm.

4.2.1 Hasil Data Pengukuran Lebar Perkumpulan Serbuk Magnetik Partikel Test Pada Spesimen Dengan Root Gap=0.05 mm

Hasil data pengukuran lebar perkumpulan serbuk *Magnetik Partikel Test* pada spesimen

orientasi root gap=0.05 mm dapat di lihat pada table 2

Table 2. Nilai Rata-Rata Lebar perkumpulan Serbuk *Magnetik Partikel Test* Pada Spesimen Root Gap=0.05 mm

Pengujian MP	Root Gap (mm)	Nilai Pembagia Spesimen					Rata-Rata (mm)
		1 (mm)	2 (mm)	3 (mm)	4 (mm)	5 (mm)	
Spesimen 1	0.05	0.2	0.4	0.5	0.3	0.3	0.34
Spesimen 2	0.05	0.5	0.5	0.4	0.2	0.2	0.36
Spesimen 3	0.05	0.4	0.5	0.4	0.3	0.5	0.42
Spesimen 4	0.05	0.3	0.3	0.3	0.3	0.4	0.32
Spesimen 5	0.05	0.1	0.3	0.3	0.6	0.5	0.36
Total Rata Rata							0.36

Tabel di atas menunjukkan data hasil pengukuran lebar perkumpulan serbuk *magnetic partikel test* pada ke 5 spesimen dengan root gap=0.05 mm. Maka di dapat nilai rata-rata pengukuran sebesar 0.36 mm. Dari hasil perhitngan tersebut dapat di simpulkan bahwa lebar cacat berpengaruh terhadap perkumpulan serbuk *magnetic partikel test*.

4.2.2 Hasil Data Pengukuran Lebar Perkumpulan Serbuk Magnetik Paertikel Test Pada Spesimen Dengan Root Gap=0.10 mm

Hasil data pengkuran lebar perkumpulan serbuk *Magnetik Partikel Test* pada spesimen orientasi root gap=0.10 mm dapat di lihat pada table 3.

Table 3. Nilai Rata-Rata Lebar perkumpulan Serbuk *Magnetik Partikel Test* Pada Spesimen Root Gap=0.10 mm

Pengujian MP	Root Gap (mm)	Nilai Pembagia Spesimen					Rata-Rata (mm)
		1 (mm)	2 (mm)	3 (mm)	4 (mm)	5 (mm)	
Spesimen 1	0.10	0.6	0.4	0.3	0.5	0.5	0.46
Spesimen 2	0.10	0.5	0.3	0.3	0.4	0.5	0.4
Spesimen 3	0.10	0.3	0.5	0.5	0.5	0.3	0.42
Spesimen 4	0.10	0.7	0.5	0.5	0.5	0.4	0.52
Spesimen 5	0.10	0.5	0.5	0.4	0.3	0.5	0.44
Total Rata-Rata							0.44

Tabel di atas menunjukkan data hasil pengukuran lebar perkumpulan serbuk *magnetic partikel test* pada ke 5 spesimen dengan root gap=0.10 mm. Maka di dapat nilai rata-rata pengukuran sebesar 0.44 mm. Dari hasil perhitngan tersebut dapat di simpulkan bahwa lebar cacat berpengaruh terhadap perkumpulan serbuk *magnetic partikel test*.

4.2.3 Hasil Data Pengukuran Lebar Perkumpulan Serbuk Magnetik Paertikel Test Pada Spesimen Dengan Root Gap=0.15 mm

Hasil data pengukuran lebar perkumpulan serbuk *Magnetik Partikel Test* pada spesimen orientasi root gap=0.15 mm dapat di lihat pada table 4.

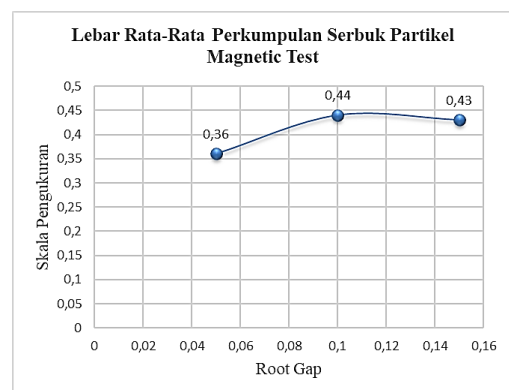
Table 4. Nilai Rata-Rata Lebar perkumpulan Serbuk *Magnetik Partikel Test* Pada Spesimen Root Gap=0.15 mm

Pengujian MP	Root Gap (mm)	Nilai Pembagia Spesimen					Rata-Rata (mm)
		1 (mm)	2 (mm)	3 (mm)	4 (mm)	5 (mm)	
Spesimen 1	0.15	0.5	0.7	0.2	0.6	0.7	0.54
Spesimen 2	0.15	0.7	0.4	0.2	0.3	0.4	0.4
Spesimen 3	0.15	0.4	0.5	0.6	0.5	0.5	0.5
Spesimen 4	0.15	0.4	0.3	0.3	0.2	0.5	0.34
Spesimen 5	0.15	0.3	0.4	0.5	0.4	0.4	0.4
Total Rata-Rata							0.43

Tabel di atas menunjukkan data hasil pengukuran lebar perkumpulan serbuk *magnetic partikel test* pada ke 5 spesimen dengan root gap=0.15 mm. Maka di dapat nilai rata-rata pengukuran sebesar 0.43 mm. Dari hasil perhitngan tersebut dapat di simpulkan bahwa lebar cacat berpengaruh terhadap perkumpulan serbuk *magnetic partikel test*.

4.2.4 Hasil Grafik Pengukuran Lebar Perkumpulan Serbuk Magnetik Partikel Test

Hasil grafik perhitungan rata-rata pengujian serbuk *magnetic partikel test* yang menggunakan metode basah dapat dilihat pada gambar 3.



Gambar 3. Lebar rata-rata perkumpulan serbuk *magnetic partikel test*

Berdasarkan grafik di atas pada specimen root gap 0.05 mm menunjukkan nilai rata-rata lebar perkumpulan serbuk *magnetic partikel test* 0.36 mm dan mengalami kenaikan pada specimen root gap 0.10 mm yang menunjukkan nilai kenaikan 0.44 mm dan mengalami penurunan pada specimen root gap 0.15 mm dengan nilai sebesar 0.43, maka pengukuran serbuk *magnetic partikel test* hanya bisa di ukur pada lebar retakan root gap 0.10 mm.

4.3 Hasil Data Pengujian Kedalaman Cacat Pengelasan Menggunakan Ultrasonic Test Pada Spesimen

Hasil Data Pengujian *Ultrasonic Test* pada specimen pengelasan dapat di bedakan dengan tiga variasi root gap. Orientasi root gap=0.05 mm, root gap=0.10 mm, dan 0.15 mm.

4.3.1 Hasil Data Pengujian Spesimen Ultrasonic Test Dengan Root gap=0.05 mm

Hasil data pengujian specimen *Ultrasonic Test* orientasi root gap=0.05 mm dapat di lihat pada table 5.

Table 5. Nilai Rata-Rata Kedalaman Cacat Pengelasan Pengujian *Ultrasonic Test* Pada Spesimen Root Gap=0.05 mm

Pengujian UT	Root Gap (mm)	Nilai Kedalaman Cacat Pengelasan (DA)					Rata -Rata (mm)
		1	2	3	4	5	
		(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	
Spesimen 1	0.05	0.12	0.08	0.17	0.17	0.12	0.132
Spesimen 2	0.05	0.13	0.08	0.10	0.12	0.15	0.116
Spesimen 3	0.05	0.06	0.43	0.43	0.10	0.04	0.212
Spesimen 4	0.05	0.17	0.19	0.13	0.10	0.12	0.142
Spesimen 5	0.05	0.10	0.20	0.15	0.11	0.06	0.124
Total							0.726

Tabel di atas menunjukkan data hasil pengukuran kedalaman cacat pengelasan menggunakan uji *ultrasonic test* pada ke 5 specimen dengan root gap=0.05 mm. Maka di dapat hasil nilai rata-rata kedalaman cacat sebesar 0.726 mm.

4.3.2 Hasil Data Pengujian Spesimen Ultrasonic Test Dengan Root gap=0.10 mm

Hasil data pengujian specimen *Ultrasonic Test* orientasi root gap=0.10 mm dapat di lihat pada table 6.

Table 6. Nilai Rata-Rata Kedalaman Cacat Pengelasan Pengujian *Ultrasonic Test* Pada Spesimen Root Gap=0.10 mm

Pengujian UT	Root Gap (mm)	Nilai Kedalaman Cacat Pengelasan (DA)					Rata-Rata (mm)
		1	2	3	4	5	
		(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	
Spesimen 1	0.10	0.08	0.08	0.19	0.14	0.13	0.124
Spesimen 2	0.10	0.17	0.10	0.18	0.15	0.19	0.158
Spesimen 3	0.10	0.11	0.11	0.09	0.14	0.14	0.118
Spesimen 4	0.10	0.23	0.14	0.12	0.16	0.15	0.16
Spesimen 5	0.10	0.19	0.43	0.17	0.11	0.09	0.198
Total							0.758

Tabel di atas menunjukkan data hasil pengukuran kedalaman cacat pengelasan menggunakan uji *ultrasonic test* pada ke 5 specimen dengan root gap=0.10 mm. Maka di dapat hasil nilai rata-rata kedalaman cacat sebesar 0.758 mm.

4.3.3 Hasil Data Pengujian Spesimen Ultrasonic Test Dengan Root gap=0.15 mm

Hasil data pengujian specimen *Ultrasonic Test* orientasi root gap=0.10 mm dapat di lihat pada table 7.

Table 7. Nilai Rata-Rata Kedalaman Cacat Pengelasan Pengujian *Ultrasonic Test* Pada Spesimen Root Gap=0.15 mm

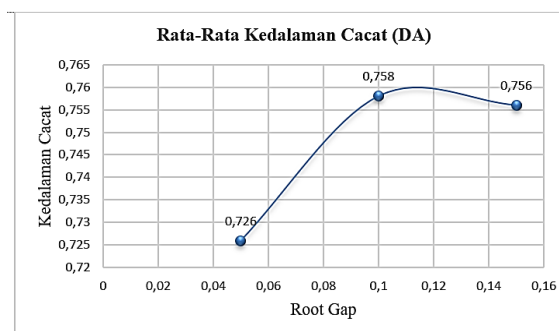
Pengujian UT	Root Gap (mm)	Nilai Kedalaman Cacat Pengelasan (DA)					Rata-Rata (mm)
		1	2	3	4	5	
		(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	
Spesimen 1	0.15	0.10	0.10	0.16	0.16	0.12	0.128
Spesimen 2	0.15	0.14	0.07	0.08	0.07	0.07	0.086
Spesimen 3	0.15	0.24	0.35	0.31	0.43	0.37	0.34
Spesimen 4	0.15	0.09	0.12	0.09	0.10	0.05	0.09
Spesimen 5	0.15	0.08	0.06	0.12	0.17	0.13	0.112
Total							0.756

Tabel di atas menunjukkan data hasil pengukuran kedalaman cacat pengelasan menggunakan uji *ultrasonic test* pada ke 5

spesimen dengan root gap=0.15 mm. Maka di dapat hasil nilai rata-rata kedalaman cacat sebesar 0.756 mm.

4.3.4 Hasil Grafik Pengujian Ultrasonic Test

Hasil grafik perhitungan rata-rata pengujian kedalaman cacat (DA) pengelasan yang menggunakan uji Ultrasonic test dapat dilihat pada gambar berikut



Gambar 4. Rata-rata kedalaman cacat (DA)

Berdasarkan grafik di atas pada specimen root gap 0.05 mm menunjukkan nilai rata-rata kedalaman cacat 0.726 mm dan mengalami kenaikan pada specimen root gap 0.10 mm yang menunjukkan nilai kenaikan 0.758 mm dan mengalami penurunan pada specimen root gap 0.15 mm dengan nilai sebesar 0.756 mm, maka dapat disimpulkan bahwa *yoke AC* hanya mampu mendeteksi cacat di bawah permukaan pada kedalaman ± 0.8 mm.

5. Kesimpulan

Kesimpulan yang didapat dari penelitian ini adalah Hasil pengujian lebar perkumpulan serbuk *magnetic partikel test* pada spesimen dari ke 5 spesimen dengan root gap=0.05 mm di dapat rata-rata lebar perkumpulan serbuk magnetic partikel sebesar 0.36 mm. Dari ke 5 spesimen dengan root gap=0.10 mm di dapat rata-rata lebar perkumpulan serbuk magnetic partikel sebesar 0.44 mm. Dari ke 5 spesimen dengan root gap=0.15 mm di dapat rata-rata lebar perkumpulan serbuk magnetic partikel sebesar 0.43 mm. Dari lebar cacat pengelasan berpengaruh juga terhadap lebar perkumpulan serbuk magnetic partikel, semakin lebar cacat maka perkumpulan serbuk magneti partikel semakin lebar pula. Hasil Pengujian Kedalam Cacat Pengelasan menggunakan uji *Ultrasonic test* dapat di lihat sebagai berikut. Dari ke 5 spesimen dengan root gap=0.05 mm di dapat rata-rata kedalaman cacat sebesar 0.726 mm.

Dari ke 5 spesimen dengan root gap=0.10 mm di dapat rata-rata kedalaman cacat sebesar 0.758 mm. Dari ke 5 spesimen dengan root gap=0.15 mm di dapat rata-rata kedalaman cacat sebesar 0.756 mm. Pengujian Magnetik Partikel yang menggunakan yoke AC dengan metode basah hanya mampu mendeteksi cacat pada kedalaman ± 0.8 mm. Lebar perkumpulan serbuk magnetic partikel di pengaruhi oleh kedalaman cacat pengelasan pada spesimen, semakin dalam cacat tersebut maka perkumpulan serbuk magnetic partikel semakin halus dan begitu juga sebaliknya.

Referensi

- [1] Muhtadan. (2009). *Pada citra digital film radiografi menggunakan geometric invariant moment dan statistical texture*. 83–106.
- [2] Arifin, A., & Junaidi. (2017). Volume III Nomor 1, April 2017 (Amir Arifin, dkk.). III(April), 21–31.
- [3] Leonardo Pardede, Wing Hendropasetyo Akbar Putra, S.T., M. E. (2015).
- [4] Pitalokha, R. A., Mulyana, C., Hamdani, M. R., & Muhammad, F. (2016). *Inspeksi Cacat (Diskontinuitas) Pada Material Dengan*. V, 29–36.
- [5] Endramawan, T., Haris, E., Dionisius, F., & Prinka, Y. (2017). Aplikasi Non Destructive Test Penetrant Testing (NDT-PT) Untuk Analisis Hasil Pengelasan Smaw 3G Butt Joint. *JTT (Jurnal Teknologi Terapan)*
- [6] Setiawan, D. (2019). *Analisa cacat las pada pengelasan smaw butt joint dengan variasi arus*. 2(2), 53–62.
- [7] Junker, W. R., & Clark, W. G. (1983). Eddy Current Characterization of Applied and Residual Stresses. *Review of Progress in Quantitative Nondestructive Evaluation*, 1269–1286.