

Pengaruh Waktu Penyemprotan *Thermal Arc Spray Aluminium* Terhadap Daya Lekat Lapisan *Coating*

Isro Nurul Hadi¹, Sri Hastuti², Nur Hadi³, Bramono Pandupradityo⁴, Larasanto⁵

^{1, 2, 3}Program Studi S1 Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Tidar

⁴PT Lastek Dwijasarana Indonesia, Surakarta

⁵CV Cipta Agung Coating, Surabaya

email: isronurul1@gmail.com

Abstrak

Thermal spray aluminium (TSA) merupakan suatu metode *coating* yang digunakan untuk menahan laju korosi, abrasi, dan deformasi. Aplikasi *coating* TSA harus memiliki ketebalan minimal 80-100 μm , sedangkan untuk aplikasi pada temperatur 600 – 950⁰ C ketebalan minimal 200 – 250 μm . Lapisan TSA pada posisi terendam air laut setiap tahun akan berkurang sekitar 20 μm . Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk mengkaji variasi waktu penyemprotan 5, 10, dan 15 *second* terhadap daya rekat lapisan *coating* TSA. Material substrat yang digunakan yaitu baja *AISI 1020*, menggunakan metode *surface preparation hand tool sandpaper #60*. Hasil preparasi diuji kebersihan sampel uji mengacu pada *surface cleanliness ISO 5801*. Pengujian *surface roughness* penelitian ini menghasilkan kekasaran sebesar 1,852 μm . Hasil pengujian DFT menunjukkan semakin lama proses penyemprotan menambah ketebalan lapisan. Hasil uji *pull off test* menunjukkan hasil ikatan optimal terjadi pada variasi 10 *second* dengan kekuatan 8,16 MPa. Pada hasil uji *bending* variasi 5 dan 10 *second* tidak menunjukan keretakan, sedangkan pada variasi 15 *second* terjadi retak kecil, namun berdasarkan *standard practice item No. 21100 uji bending* tidak ada retak dan retak kecil masih diperbolehkan.

Kata kunci: *thermal spray aluminium, surface preparation, DFT, pull off adhesive, bending*

Abstrac

Thermal spray aluminium (TSA) is a coating method used to resist corrosion, abrasion, and deformation. The minimum thickness for TSA coating applications is 80-100 μm , while for applications at temperatures of 600 - 950⁰ C, the minimum thickness is 200 - 250 μm . In a seawater submerged position, the TSA layer will decrease by about 20 μm every year. This research aims to investigate the effect of spraying time (5, 10, and 15 seconds) on the adhesion of the TSA coating layer. *AISI 1020* steel was used as the substrate material, with surface preparation carried out using hand tool sandpaper #60. The preparation results were tested for cleanliness of the test samples in accordance with *ISO 5801 surface cleanliness standards*. Surface roughness testing in this study resulted in a roughness of 1.852 μm . The DFT test results indicate that the thickness of the coating increases with longer spraying processes. The results of the pull-off test indicate that the best bonding occurs within a 10-second time frame, with a strength of 8.16 MPa. The bending test results show that there were no cracks in the 5 and 10 second variations, while small cracks were observed in the 15 second variation. However, according to *standard practice item No. 21100*, small cracks are still permissible.

Keyword: *thermal spray aluminium, surface preparation, DFT, pull off adhesive, bending*

1. PENDAHULUAN

Deformasi merupakan salah satu masalah serius pada penggunaan material, masalah yang disebabkan seperti mengurangi kekuatan konstruksi, mengurangi umur pakai, dan bagian pada komponen tidak berfungsi [1]. Deformasi dapat dicegah menggunakan metode *coating* yang bertujuan melindungi material seperti baja dari lingkungan *detetiroatif* seperti lingkungan laut [2]. Baja pada lingkungan laut akan mudah terkorosi karena kadar pH yang rendah mempercepat reaksi korosi (mikroba) [3].

Thermal Spray merupakan salah satu metode pelapisan atau *coating* dengan keunggulan biaya relative murah, menghasilkan kekuatan mekanik pada lapisan, serta memberikan sifat melindungi dari keausan, suhu panas, dan deformasi [4]. *Arc spray* merupakan salah satu metode *thermal spray* yang menggabungkan dua buah kawat kembar dileburkan dengan listrik (*arc spray*). Partikel cair hasil lelehan akan didorong menggunakan udara bertekanan menuju substrat [5]. Penggunaan bahan tambah yang tepat untuk melindungi baja dari korosi maupun deformasi yaitu aluminium dan biala disebut *thermal spray aluminium* (TSA). Kadar aluminium yang digunakan yaitu aluminium murni 99,5% dan paduannya [6].

Baja sangat penting dalam penggunaannya pada industri perkapalan seperti pada lambung kapal, pipa-pipa, pemesian kapal, dan komponen bantu kapal. Kondisi lingkungan laut akan mempercepat reaksi kimia konsentrasi ion klorida yang tinggi mudah menyebabkan oksidasi [7]. TSA pada lingkungan terendam air laut akan berkurang kurang lebih 20 μm setiap tahunnya. Nilai minimum ketebalan lapisan *coating* TSA 80-100 μm , sedangkan untuk aplikasi pada temperatur tinggi 600 – 950⁰ C minimal 200 – 250 μm [5].

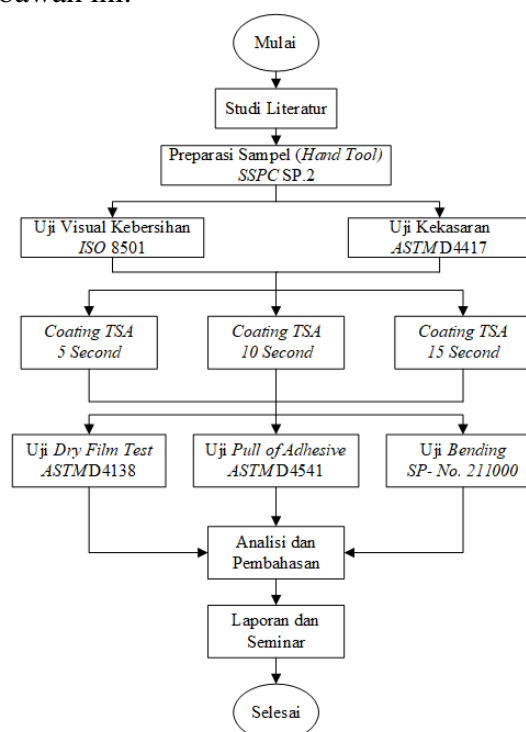
Ikatan mekanik pada *coating* TSA dapat diukur menggunakan *pull off test* yang mengkaji daya rekat antara *base*

metal dengan *coating*. *Coating* dengan bahan tambah aluminium atau TSA minimal mempunyai kekuatan rekat 6,89 MPa [5], [8]–[10].

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kekuatan mekanik pada variasi waktu penyemprotan 5,10, 15 *second thermal arc spray aluminium*. Pengujian yang dilakukan yaitu uji visual kebersihan dan kekasaran permukaan pada tahap *survace preparation*, pada proses hasil *coating* TSA dilakukan pengujian *dry film test* (DFT), *pull of adhesive*, dan uji *bending*.

2. METODE PENELITIAN

Metode penelitian meliputi langkah dan metode pengambilan data pada proses penelitian. Secara rinci dan singkat, penelitian ini dapat dilihat pada gambar 1 diagram alir dibawah ini.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

2.1 Teknik Pengumpulan Data

a. Studi Literatur

Teknik pengumpulan data studi literatur bertujuan untuk mencari referensi ilmu sesuai dengan permasalahan dari penelitian yang relevan. Dengan studi literatur penelitian yang dilakukan akan lebih akurat dan berjalan sesuai dengan kaidah yang ada.

b. Studi Laboratorium

Teknik pengumpulan data studi laboratorium bertujuan untuk memperoleh data berdasarkan permasalahan yang telah ditentukan. Pengambilan data penelitian berupa data kualitatif maupun kuantitatif, pada penelitian studi laboratorium akan menggunakan sebelum diuji yaitu uji visual kebersihan dan uji kekasaran permukaan substrat, pengujian setelah *coating* yaitu *dry film test* (DFT), *pull off adhesion*, dan *bending*.

2.2 Model Penelitian

Spesimen yang digunakan dalam penelitian yaitu *carbon steel AISI 1020* berbentuk persegi dengan dimensi 50 x 50 mm. Spesimen dipreparasi menggunakan *hand tool sandpapering grade #60*. Spesimen yang telah dipreparasi dan dibersihkan kemudian di *thermal spray aluminium* (TSA) menggunakan mesin *thermal spray SX 400*. Parameter yang digunakan yaitu menggunakan waktu 5 *second*, 10 *second*, dan 15 *second*. Jumlah spesimen yang dibuat yaitu 3 spesimen uji kebersihan dan kekasaran permukaan, 15 spesimen berbentuk persegi (50 x 50 mm) untuk uji DFT dan *pull off adhesive* serta spesimen berbentuk persegi Panjang (30 x 300 mm) untuk uji penampang *bending*.

a. Uji Visual dan Kekasaran Permukaan

Persiapan permukaan berpengaruh besar terhadap hasil *coating* dan termasuk faktor paling berpengaruh terhadap daya lekat (adhesi) [11]. Pengujian visual digunakan untuk mengukur kebersihan permukaan substrat berdasarkan *ISO 8501*. Metodenya yaitu dengan cara membandingkan permukaan substrat yang telah dipreparasi menggunakan *hand tool* dengan foto pada standar yang digunakan yaitu SA 2,5. Pada pengujian kekasaran permukaan, standar yang digunakan yaitu *ASTM D4417*. Metodenya yaitu spesimen yang telah dilakukan preparasi sampel *hand tool* kemudian dilakukan pengujian kekasaran permukaan dengan menggunakan alat *surface roughness tester*.

b. Dry Film Test (DFT)

Pengujian menggunakan alat *Coating Thickness Gauge*. Standar pengujian DFT yaitu menggunakan *ASTM D4138*. Sebelum dilakukan pengujian spesimen diukur suhunya menggunakan *Dew Point Meter*. Ketebalan minimum lapisan *coating* yaitu 5% pada kondisi kering diuji dengan DFT. Konsep DFT yaitu sebagai pengamatan mikroskopis ketebalan lapisan dari *coating* [12].

c. Pull Off Adhesive

Standar yang digunakan yaitu *ASTM D4541* menggunakan alat *adhesion tester*. Prosedurnya yaitu dengan menempelkan *dolly* berukuran 20 mm pada permukaan bagian atas *coating* menggunakan lem *epoxy adhesive*. Perbandingan campuran lem adalah 1 : 1 dengan masa kering 24 jam. Setelah 24 jam lem yang keluar dari sisi *dolly* dibersihkan menggunakan *dolly cutter*. Setelah semua lem pada spesimen bersih, selanjutnya bisa dilakukan pengetesan dengan cara memasang bagian atas *dolly* pada alat *adhesion tester*. Kalibrasi *pull off* agar tidak goyang, lalu tekan tuas perlahan sampai lapisan *coating* terlepas. Suatu *coating* TSA harus mempunyai nilai minimum daya rekat berdasarkan masing masing penggunaan standar dapat dilihat paa tabel 1 dibawah ini.

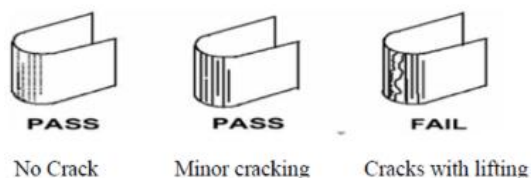
Tabel 1. *Minimal Pull off Strength* Berdasarkan Standar [5]

No	Standard	Min, Adhesion Strength [MPa]
1	ISO 2063	4.5
2	SSPC-CS 23.00/AWS C2.23M/NACE No. 12	6.89
3	NORSOK M-501	9
4	AWS C2.18-93	10.3

d. Bending

Pengujian *bending* dilakukan untuk menghasilkan data kualitatif berupa tampak permukaan *coating* setelah dibengkokkan. Metode pengujiannya yaitu membengkokkan spesimen sampai 180⁰ dari arah berlawanan lapisan *coating*. Pengujian *bending* pada *coating* TSA menggunakan parameter *Standar Practice Item No. 21100 (NACE NO.12 / AWS C2.23M / dan SSPC CS-23)*. Dalam uji *bending coating* akan

menghasilkan 3 parameter deformasi akibat beban yaitu retak, retak kecil, dan retak dengan pengangkatan dapat dilihat pada gambar 2. Uji *bending* dinyatakan berhasil apabila pada radius tekukan tidak terdapat retakan dan pengelupasan lapisan *coating*, atau minimal terdapat retakan kecil yang tidak terangkat dari substrat [13].

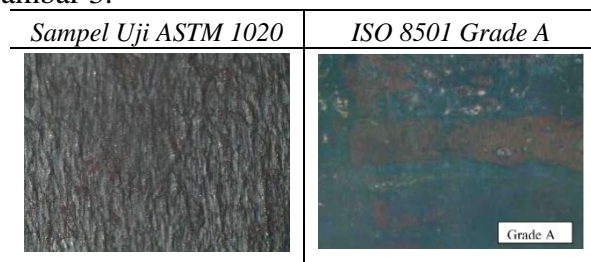


Gambar 2. Parameter Hasil Uji *Bending Coating*

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

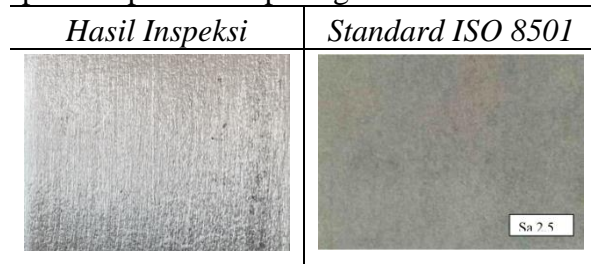
3.1 *Surface Preparation*

Baja substrat yang digunakan yaitu ASTM 1020 yaitu baja karbon rendah. Baja yang digunakan memiliki lapisan *adhering mill* dan terdapat deformasi kecil sesuai ISO 8501 masuk kategori *Grade A*. Berikut kondisi permukaan pada sampel uji ASTM 1020 pembesaran 10 x dengan mikroskop jika dibandingkan dengan standar ISO 8501 *Grade A* [14] dapat dilihat pada gambar 3.



Gambar 3. Perbandingan Sampel Uji dengan ISO 8501 *Grade A*

Pengujian kebersihan dengan standar ISO 8501 yaitu menggunakan gambar SA 2,5 sebagai acuan kebersihannya. Hasil inspeksi dapat dilihat pada gambar 4.



Gambar 4. Hasil Inspeksi Kebersihan

Permukaan

Uji kekasaran permukaan dilakukan setelah uji visual *surface of cleanliness*, spesimen yang telah direparasi diukur kekasaran permukaannya dengan alat *surface roughness meter*. Setiap Sampel uji dilakukan 3 pengambilan data pada posisi yang berbeda. Data hasil kekasaran pada setiap spesimen dirata-rata untuk menghasilkan data yang akurat. Nilai rata-rata kekasaran pada *surface preparation hand tool sandpaper #60* sebesar 1,852 μm . Untuk data hasil uji kekasaran dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 2. Nilai Hasil Pengujian *Surface Roughness*

No	Nilai Kekasaran Hasil Uji (μm)			Rata-rata (μm)
	Titik 1	Titik 2	Titik 3	
1	1,759	2,238	1,593	1,863
2	1,382	1,829	2,151	1,787
3	1,813	2,125	1,783	1,907
Average				1,852

3.2 Hasil Uji *Dry Film Test (DFT)*

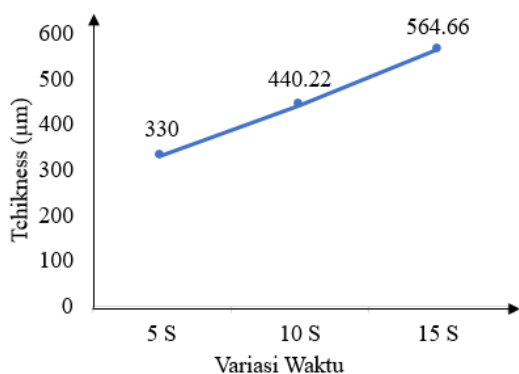
Pengujian *dry film test* dilakukan pada setiap spesimen, dengan masing masing spesimen diambil 3 titik berbeda dengan kode A, B, dan C untuk diambil rata-ratanya. Hasil pengujian *dry film test* yang telah dilakukan dapat dilihat pada tabel 3.

Tabel 3. Data Hasil Uji DFT

Variasi Waktu (S)	No	Titik Pengambilan Nilai DFT			Rata-Rata
		A	B	C	
		5	1	324	
5	2	288	430	307	341,66
	3	347	283	293	307,66
	Rata-Rata Nilai DFT 5 Second				330
10	1	412	360	515	429
	2	462	387	486	445
	3	413	527	400	446,66
Rata-Rata Nilai DFT 10 Second				440,22	
15	1	523	545	624	564
	2	484	551	606	547
	3	661	547	541	538
Rata-Rata Nilai DFT 15 Second				564,66	

Perbedaan *thickness* lapisan *film coating* TSA ini dipengaruhi oleh perbedaan lama

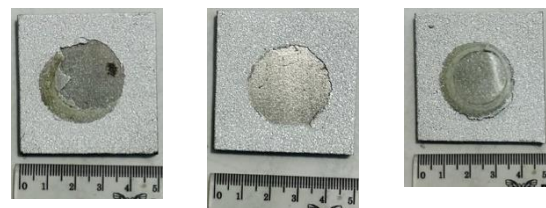
waktu penyemprotan yang dilakukan pada setiap variasi. Terjadi kenaikan yang konstan dan stabil pada perbedaan variasi waktu. Dapat diambil kesimpulan bahwa semakin lama penyemprotan *coating* TSA maka ketebalan lapisan film akan bertambah tebal. Berdasarkan nilai hasil pengujian DFT diatas, semua variasi penyemprotan waktu telah memenuhi persyaratan minimal ketebalan TSA yaitu 80-100 μm , dan untuk aplikasi pada temperatur tinggi 600 – 950⁰ C minimal 200 – 250 μm [5]. Faktor utama yang paling berpengaruh terhadap hasil ketebalan *coating* yaitu waktu penyemprotan dan diameter *nozzel* [15].



Gambar 5. Diagram Nilai Rata-rata Hasil Uji DFT

3.3 Hasil Uji Pull Off Adhesive

Mode kegagalan uji *pull off adhesive* menghasilkan data kualitatif (berkaitan dengan *failure mode*) serta data kuantitatif (berdasarkan *pull off strength*). Alat yang digunakan yaitu *pull off tester* dengan diameter dolly 20 mm, masing masing spesimen ditempelkan satu dolly pada bagian tengah spesimen. Penempelan dolly menggunakan lem epoxy (1:1) dengan waktu 24 jam sebelum dilakukan pengujian. Setelah 24 jam dari penempelan lem epoxy dan lem telah mengering, bersihkan sisa *epoxy adhesive* yang keluar dari area *dolly* menggunakan *dolly cutter*. Pasang *base support ring* pada kedudukan alat adhesion tester. Tekan tuas tester secara perlahan sampai *dolly* terlepas [11].



(a) 5 s (b) 10 s (c) 15 s

Gambar 6. Tampak Visual *Failure Mode* pengujian *Pull off Adhesive*:

- (a) *Adhesive Failure Mode (AFM)*,
- (b) *Cohesive Failure Mode (CFM)*,
- (c) *Glue Failure Mode (GFM)*

Tabel 4. Nilai Hasil Uji *Pull Off Adhesive*

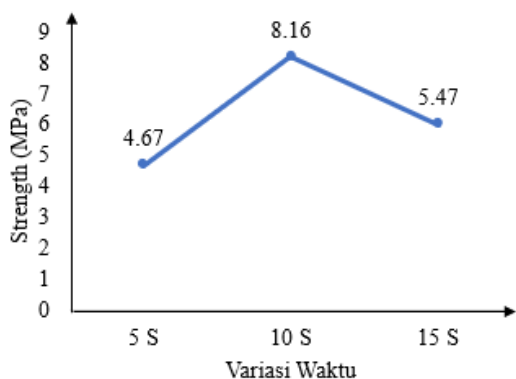
		Diameter Dolly 20 mm				
		Pull off Adhesive Test				
Variasi	No	AFM (%)	CFM (%)	GFM (%)	Strength (MPa)	Average (MPa)
5	1	100	-	-	4,3	4,67
	2	100	-	-	4,85	
	3	90	10	-	4,86	
10	1	100	-	-	7,26	8,16
	2	100	-	-	10,2	
	3	100	-	-	7,02	
15	1	100	-	-	6,2	5,98
	2	7	-	25 %	6,48	
	3	100	-	-	5,26	

Kekuatan daya rekat TSA pada variasi 5 second menuju 10 second berbanding lurus dengan ketebalan lapisan film pada uji DFT. Kenaikan data ketebalan film pada variasi 10 *second* menuju 15 *second* berbanding terbalik dengan kekuatan daya ikat TSA yang mengalami penurunan sebesar 2,69 MPa. Dengan adanya data tersebut dapat disimpulkan bahwa kekuatan optimal pada *thermal spray aluminium* (TSA) baja AISI 1020 dengan preparasi hand tool terjadi pada variasi waktu 10 *second* dengan daya lekat sebesar 8,16 MPa, nilai ini sudah memenuhi standar kekuatan minimum aplikasi *coating* TSA berdasarkan *SSPC-CS 23.00/ AWS C2.23M/ NACE No. 12* yaitu minimal kekuatan 6,89 MPa.

Pada hasil pengujian *pull off*, spesimen dapat diamati secara visual untuk mengetahui hasil TSA yang terangkat. Data kualitatif berupa tampak visual pada variasi 5 *second* terdapat mode kegagalan kohesi, pada variasi 10 *second* sepenuhnya adhesi, dan pada variasi 15 *second* terdapat mode kegagalan

pada lem. Namun seluruh spesimen mengalami kegagalan adhesi, hal tersebut dapat ditandai dengan warna base metal yang tidak tercampur dengan aluminium.

Kegagalan adhesi menunjukkan sambungan TSA putus dengan *base metal* pada permukaan *adherend*, bukan pada lapisan aluminium, dan kekuatan adhesif terjadi akibat dari ikatan mekanika *interlocking* pada lapisan *coating* dengan substrat benda [16].



Gambar 7. Diagram Hasil Uji *Pull Off Strength*

3.4 Hasil Uji *Bending*

Karakteristik pada ikatan adhesi lapisan *coating* dengan *base metal* dapat dilihat pada pengujian *pull off adhesive*, namun selain itu pada pengujian *bending* juga bisa dilihat tampak ikatan apabila terkena beban. Pengujian *bending* akan menghasilkan tampak permukaan yang dapat di amati secara visual mata, dan dapat diklasifikasikan kepada 3 kriteria yaitu tidak retak, retak kecil, dan retak dengan pengangkatan. Penampang yang memiliki ikatan *coating* baik ditandai dengan lapisan *coating* yang tidak mengalami retak [9].

Tabel 5. Hasil Visual TSA pada Uji *Bending*

Variasi	Gambar Spesimen	Item no. 21100	Keterangan
5 Second			Tidak ada retak

10 Second			Tidak ada retak (indikasi retak kecil)
15 Second			Retak Kecil

Hasil uji *bending* variasi 5 dan 10 *second* tidak mengalami retak, sedangkan pada variasi 15 *second* terdapat retak kecil. Hasil terbaik pada lapisan *coating* setelah dilakukan uji *bending* yaitu pada variasi 5 *second*, masih menempel sempurna tanpa retakan setelah uji *bending*. permukaan *coating* yang terkena deformasi hasil uji *bending* dengan indikasi tidak retak dan retak kecil masih diperbolehkan [8].

4. KESIMPULAN

Hasil pengujian *dry film test* (DFT) pada lapisan *coating thermal spray aluminium* menunjukkan bahwa semakin lama penyemprotan maka lapisan *coating* akan semakin tebal. Pengujian *pull off adhesive* menunjukkan peningkatan kekuatan terjadi pada variasi 5 ke 10 *second*, sedangkan kembali menurun pada variasi 10 ke 15 *second*. Hal tersebut mengindikasikan bahwa *pull off strength* terjadi secara optimal pada variasi penyemprotan 10 *second* dan memenuhi standar penggunaan *coating* dengan minimal kekuatan 6,89 MPa menurut *Standar Practice Item No. 21100*. Hasil pengujian *bending* menunjukkan semakin lama penyemprotan dan menghasilkan lapisan yang semakin tebal, maka lapisan *coating* TSA akan berpotensi mengalami keretakan.

REFERENSI

[1] A. Affandi et al., 2020, *Analisa Korosi Atmosferik Baja Karbon Rendah Di Kecamatan Medan Belawan*, Multitek Indones., vol. 14, no. 2, 80–88

[2] B. Y. Prameswara, Y. Kristiawan, and M.

- Chamim, 2020, *Pengerasan Permukaan Baja Karbon Sedang Dengan Metode Thermal Spray Coating*, J. Tek., vol. 6, no. 4, 195–203
- [3] B. Utomo, 2012, *Jenis Korosi Dan Penanggulangannya*, Kapal J. Ilmu Pengetah. dan Teknol. Kelaut., vol. 6, no. 2, 138–141
- [4] A. Saidah and A. Basri, 2020 *Pengaruh Termal Dan Jarak Arc Spray Terhadap Sifat Mekanik Baja Karbon (Aisi 1045)*, J. Kaji. Tek. Mesin, vol. 5, no. 2, 116–123
- [5] B. Syrek-Gerstenkorn, S. Paul, and A. J. Davenport, 2020, *Sacrificial thermally sprayed aluminium coatings for marine environments: A review*, Coatings, vol. 10, no. 3, 1–19
- [6] M. H. A. Malek, N. H. Saad, S. K. Abas, N. R. N. Roselina, and N. M. Shah, 2013, *Performance and microstructure analysis of 99.5% aluminium coating by thermal arc spray technique*, in *Procedia Engineering*, Elsevier Ltd, 558–565
- [7] A. W. B. Santosa, R. B. Bunggang, and O. Mursid, 2022, *Analisa Pengaruh Metode Hot Dip Galvanizing Dengan Variasi Temperatur dan Waktu Pencelupan Terhadap Laju Korosi Pipa Air Laut Kapal Material Baja AISI 1020*, Teknik, vol. 43, no. 2, 202–210
- [8] American Welding Society., 2003, *Specification for the application of thermal spray coatings (metallizing) of aluminum, zinc, and their alloys and composites for the corrosion protection of steel*, vol. 4656, no. 21100, 37
- [9] M. A. Hidayanto, C. Pramono, S. Hastuti, A. Nurdin, and I. R. Al, *Pengaruh Voltage pada Proses Thermal Spray Aluminium Terhadap Kekuatan Ikatan Lapisan Coating pada Baja ST 60*, vol. 6, no. 2, 27–35
- [10] R. Lusiani, Sunardi, and Hamid, 2013, *Sifat mekanik lapisan stainless steel 316 pada baja karbon rendah dengan proses electric arc spray*, Semin. Nas. Ind. Serv., 429–434
- [11] B. P. Pamungkas, 2021, *Analisis Pengaruh Kekasaran Permukaan Terhadap Daya Lekat Pengecatan pada Aluminium*, Politeknik Perkapalan Negri Surabaya, Skripsi
- [12] ASTM D4138, 2001, *Standard Practices for Measurement of Dry Film Thickness of Protective Coating Systems by Destructive , Cross-Sectioning Means 1*, vol. 94, no. C, 6–11
- [13] SSPC, “SSPC: The Society for Protective Coatings Surface Preparation Standard No . 2,” vol. i, no. 1, pp. 2015–2016, 2018.
- [14] ISO 8501, 2020, *ISO 8501-1:2007(E) Contents / Preparation of steel substrates before application of paints and related products Visual assessment of surface cleanliness*, vol. 27, no. 0., 123–128
- [15] S. Luangkularb, S. Prombanpong, and V. Tangwarodomnukun, 2014, *Material consumption and dry film thickness in spray coating process*, Procedia CIRP, vol. 17, 789–794
- [16] K. Fajar, 2017, *Pengaruh Variasi Jarak Spray Pelapisan FeCrMnNiCSi Metode Wire ARC Spray Terhadap Abrasive Wear Resistance dan Porositas Grey Cast Iron FC25*, Skripsi S1