

PENGARUH VOLTAGE PADA PROSES *THERMAL SPRAY* ALUMINIUM TERHADAP KEKUATAN IKATAN LAPISAN *COATING* PADA BAJA ST 60

Maulana Aziz Hidayanto^{1*}, Catur Pramono¹ Sri Hastuti¹, Akhmad Nurdin², Ibnu Rosyid Al Hassany², Larasanto Larasanto³, Bramono Pandupradityo⁴

¹Program Studi Teknik Mesin, Universitas Tidar

²Program Studi Teknologi Rekayasa Perancangan Manufaktur, Politeknik Manufaktur Ceper

³CV Cipta Agung, Surabaya

⁴Inlastek Welding Institute, Surakarta

*Corresponding author: maulanaaziz110401@gmail.com

Diterima: 17 Juli 2023 Direvisi: 05 Oktober 2021 Disetujui: 13 November 2023 Terbit online: 21 November 2023

ABSTRAK

Thermal spray aluminium adalah salah satu jenis teknologi rekayasa *coating*. Sifat utama yang menunjukkan kualitas proses *thermal spray* adalah kekuatan ikatan. *Voltage* pada *thermal spray* aluminium secara signifikan mempengaruhi kekuatan ikatan dan kemampuan *bending* lapisan. Tujuan dari penelitian ini yaitu menganalisis pengaruh *voltage* pada proses *thermal spray* aluminium terhadap kekuatan ikatan lapisan *coating* pada baja ST 60. Jenis pengujian yang dilakukan yaitu pengujian pull off adhesion, uji bending dan pengamatan SEM (*Scanning Electron Microscope*). Penelitian ini menggunakan metode eksperimen dengan jumlah 27 spesimen. Proses pengerjaan penelitian ini menggunakan variasi *voltage* 26 V, 32 V dan 38 V. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa *voltage* yang digunakan berpengaruh pada kekuatan ikatan lapisan *coating* pada baja ST 60. Nilai kekuatan ikatan dan kemampuan *bending* lapisan paling baik didapat dari proses penyemprotan dengan *voltage* 38 V dengan nilai kekuatan ikatan lapisan *coating* 10, 24 MPa dan tidak ada retakan pada lapisan ketika dibengkokkan. Peningkatan nilai *voltage* yang digunakan pada *thermal spray* meningkatkan nilai kekuatan ikatan dan kemampuan *bending* lapisan

Kata kunci: *thermal spray* aluminium, *voltage*, ST 60, kekuatan ikatan, kemampuan *bending*

ABSTRACT

Thermal spray aluminum is one type of coating engineering technology. The main property that shows the quality of the *thermal spray* process is bond strength. The voltage applied to the aluminum *thermal spray* significantly affects the bond strength and bending ability of the coating. The purpose of this study was to analyze the effect of voltage on the aluminum *thermal spray* process on the bond strength of the coating layer on ST 60 steel. The types of tests carried out were pull off adhesion testing, bending tests and SEM (*Scanning Electron Microscope*) observations. This research used an experimental method with a number of the 27 specimens. The process of doing this research using a variation of voltage 26 V, 32 V and 38 V. The results of this study indicate that the voltage used affects the bond strength of the coating layer on ST 60 steel. The value of bond strength and coating bending ability is the highest. both were obtained from the spraying process with a voltage of 38 V with a coating layer bond strength value of 10.24 MPa and there were no cracks in the layer when it was bent. Increasing the value of the voltage used in the *thermal spray* increases the value of the bond strength and the bending ability of the coating.

Keywords: *thermal spray* aluminum, *voltage*, ST 60, bond strength, bending ability

1. PENDAHULUAN

Thermal spray adalah salah satu jenis teknologi rekayasa *coating* [1]. *Thermal spray* memiliki banyak keunggulan dibandingkan metode lainnya. Metode ini memberikan pemilihan bahan yang mudah, varian dengan ketebalan lebih tinggi, dan sifat pelapisan yang baik [2]. Tujuan utama penerapan *thermal spray coating* adalah untuk melindungi dan mengurangi kemungkinan struktur baja dari korosi, selain mengurangi keausan dan laju kehilangan material. Karena karakteristik ini, pelapisan semprotan termal sangat berguna untuk melindungi struktur baja dalam kondisi atmosfer apa pun, khususnya di lingkungan laut [3]. Aluminium murni dan paduan aluminium biasanya digunakan dalam proses arc spray sebagai bahan pelapis. Aluminium adalah bahan yang paling menonjol di lingkungan agresif seperti laut, di bawah insulasi termal atau area permukaan yang panas. Keunggulan pelapisan aluminium berasal dari kemampuannya membentuk lapisan film pasif, sehingga memberikan laju korosi yang lebih rendah dan tahan terhadap proses suhu tinggi [4] [5].

Dalam mesin *thermal arc spray* terdapat parameter yang dapat dikontrol untuk menghasilkan endapan lapisan yang baik seperti *wire feed*, *compressed air supply* dan *voltage*. *Voltage* digunakan untuk membentuk busur listrik di antara elektroda dan material yang akan disemprotkan. Partikel yang dihasilkan oleh semprotan busur listrik umumnya memiliki ukuran serupa. Namun, ukuran dan distribusi partikel merupakan fungsi dari parameter operasi yang digunakan. Ukuran partikel bertambah seiring tegangan menurun. Sebaliknya, ukuran partikel berkurang saat *voltage* meningkat [6] [7].

Sifat utama yang menunjukkan kualitas proses *thermal spray* adalah kekuatan ikatan dan kemampuan *bending* lapisan. Kekuatan ikatan menjadi faktor utama dari daya tahan dan usia pakai lapisan. Kepadatan lapisan dan kekuatan ikatan mempengaruhi elastisitas lapisan. Kemampuan *bending coating* yang baik ditunjukkan dengan tidak adanya retakan *coating* pada saat substrat yang sudah terlapis dibengkokkan. Kepadatan bahan semprot dan kekuatan ikatan secara langsung mempengaruhi elastisitas lapisan [8].

Berdasarkan latar belakang maka akan dilakukan penelitian tentang pengaruh *voltage* pada proses *thermal arc spray* aluminium untuk mengetahui kekuatan ikatan dan kemampuan *bending* lapisan *coating*. Pengamatan SEM juga dilakukan untuk mengetahui morfologi lapisan yang dihasilkan.

2. METODE PENELITIAN

2.1 Pengumpulan Data

Pengumpulan data diperoleh dari jurnal, buku referensi, modul, artikel, internet, dan studi lapangan secara langsung dengan menggunakan metode eksperimen karena dapat memberikan data yang valid dan dapat dipertanggung jawabkan.

Material yang digunakan sebagai substrat pada penelitian ini adalah baja ST 60. Baja karbon ST 60 tergolong kedalam baja karbon sedang yang memiliki kandungan unsur karbon sekitar 0,5012% dengan titik didih 1550° C dan titik lebur 2900° C [9].

Thermal arc spray adalah jenis teknik semprotan busur listrik. Dalam proses ini, elektroda terdiri dari dua kawat yang memiliki diameter yang sama yang menyebabkan penyemprotan material secara bersamaan [7]. Kawat dilelehkan oleh sumber listrik yang menyebabkan terbentuknya busur yang menghasilkan panas. Suhu panas dari busur dapat mencapai dengan mudah antara 4000 °C sampai 6000 °C. kawat yang sudah meleleh kemudian disemprotkan dengan udara bertekanan dengan kecepatan tinggi. Setelah bahan yang dicairkan bertabrakan dengan substrat, bahan yang dicairkan akan segera memadat, terikat dan berubah menjadi pelapis [6].

Kekuatan ikatan adalah salah satu sifat terpenting dalam pelapis yang disemprot secara termal karena memainkan peran penting dalam kinerja dan masa pakai pelapis. Untuk membenarkan bahwa lapisan aluminium semprotan busur termal dapat melakukan tugas pelapisannya, uji mekanis dilakukan. Pengujian *pull off adhesion* dilakukan untuk mengevaluasi kekuatan adhesi lapisan antara lapisan dan substrat dan untuk memeriksa kelemahan dalam sistem pelapisan. Standar nilai kekuatan ikatan untuk sebuah lapisan aluminium adalah ≥ 7 MPa [10].

Ikatan mekanik atau biasa dikenal *mechanical interlocking* adalah ikatan *coating* dengan substrat dikarenakan adanya penguncian secara mekanik pada bagian permukaan antara substrat dengan pelapis [11].

2.2 Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini ada 2 yaitu bahan untuk lapisan dan bahan untuk substrat. Baja ST 60 adalah material yang digunakan sebagai substrat dan akan dilapisi dengan *coating*. Baja yang digunakan ada 2 bentuk, yaitu berbentuk plat dengan panjang 150 mm, lebar 30 mm, ketebalan 5 mm, dan berbentuk tabung berdiameter 50 mm dengan ketebalan 10 mm. Aluminium murni dalam bentuk kawat dengan kadar 99,9% digunakan sebagai bahan pelapis dengan diameter 1,5 mm.



Gambar 1. Kawat aluminium dan baja substrat ST60

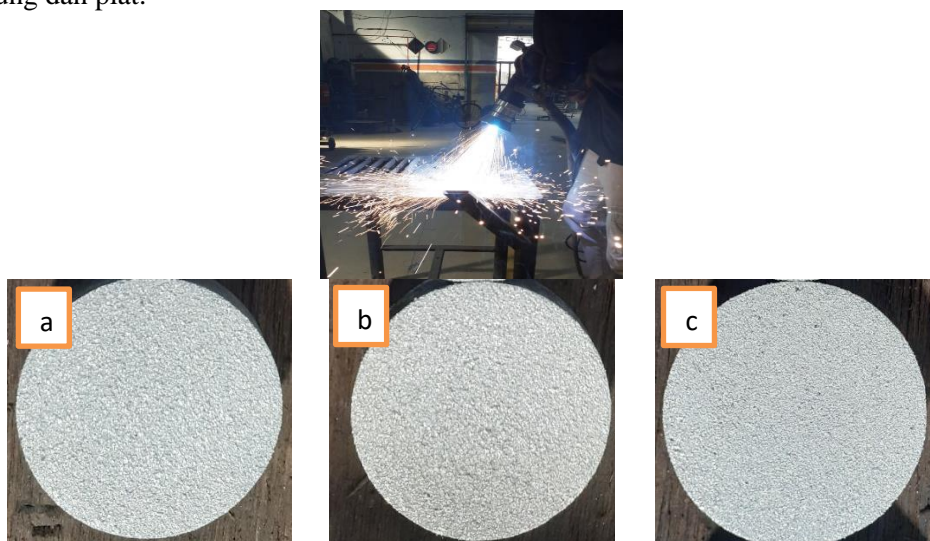
2.3 Tahap Penelitian

a. Preparasi Sampel

Substrat baja ST 60 terlebih dahulu dipersiapkan sebelum dilakukan proses pelapisan. Langkah dalam menyiapkan permukaan substrat untuk penyemprotan adalah menghilangkan kontaminan seperti minyak, cat, karat, kerak, dan kelembapan [6]. Kotoran yang terdapat pada substrat akan berfungsi untuk meminimalkan kontak logam ke logam dan mengurangi adhesi (kekuatan perekat). Dalam penelitian kali ini penulis menggunakan *abrasive paper* untuk menghaluskan dan menghilangkan kotoran.

b. Proses *Thermal Spray*

Proses *thermal spray* dilakukan pada 2 bentuk spesimen. Bentuk spesimen yang digunakan adalah tabung dan plat.



Gambar 2. Proses *thermal spray* dan hasil *thermal spray* (a) 26V, (b) 32V, (c) 38V

Bentuk spesimen tabung digunakan untuk uji *pull off adhesion* dan uji SEM, sedangkan spesimen bentuk plat untuk uji *bending*. Kemudian dalam proses *spray* menggunakan variasi 3 jenis *voltage* yaitu 26 V, 32 V, 38V. Parameter penyemprotan yang digunakan terdapat pada table 1.

Tabel 1. Parameter *thermal spray*

No	Parameter	Nilai
1	Jenis <i>thermal spray</i>	TSA
2	Jenis material	Wire
3	Tegangan	26 V, 32 V, 38 V
4	Arus	200 Ampere
5	Tekanan udara	5 Bar
6	Jarak semprot	20 Cm

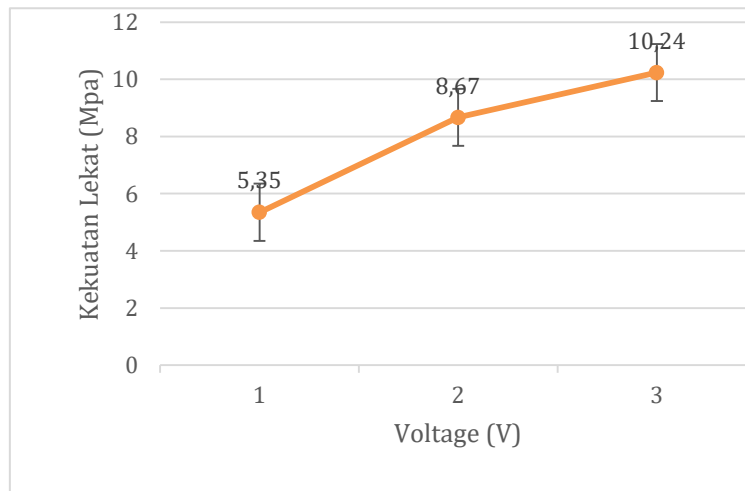
c. Proses Pengujian

Pengambilan nilai kekuatan lekatan lapisan *coating* dilakukan dengan alat *pull off adhesion tester* dan kemampuan *bending* lapisan *coating* dengan uji *bending*. Pengujian *pull off adhesion* dilakukan dengan menggunakan standar ASTM D4541 dan pengujian *bending* dilakukan dengan menggunakan standar ASTM D522. Pengamatan SEM dilakukan dengan standar ASTM E2809. Dari hasil percobaan tersebut kemudian diambil data hasil dan kesimpulan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Pengujian Pull Off Adhesion

Pengujian dilakukan dengan pengambilan rata-rata dari pengujian sebanyak 5 sampel dari setiap variabel yang berbeda. Hasil pungguian *pull off adhesion* ditunjukkan pada gambar 2.



Gambar 3. Grafik hasil pengujian *pull off adhesion*

Gambar 3 menunjukkan bahwa *voltage* pada mesin *thermal spray* yang digunakan selama penyemprotan berpengaruh terhadap nilai kekuatan ikatan. Nilai kekuatan ikatan pada uji *pull off adhesion* diambil dari perhitungan rata-rata pada 5 pengujian yang telah dilakukan. Nilai kekuatan ikatan bervariasi dengan nilai tertinggi 10,24 MPa, sedangkan nilai terendah 5,35 MPa. Kekuatan rekat tertinggi diperoleh untuk spesimen yang disemprotkan dengan menggunakan *voltage* 38 V. Sebaliknya, nilai kekuatan ikatan terendah diperoleh pada spesimen yang disemprot dengan *voltage* 26 V.

Kekuatan ikatan lapisan yang dihasilkan. Dari gambar 3 dapat dilihat bahwa kekuatan lekat lapisan meningkat seiring meningkatnya *voltage* yang digunakan. Nilai kelekatan terendah pada spesimen 26 V sebesar 5,35 MPa dan nilai kelekatan tertinggi pada spesimen 38 V sebesar 10,24 MPa. Kekuatan lekat merupakan hasil dari mekanika interlocking antara substrat dan material *coating*. Mekanika interlocking terjadi karena proses difusi antara material panas yang disemprotkan bertabrakan dengan substrat [11].



Penambahan nilai *voltage* pada penelitian ini menyebabkan peningkatan suhu pemanasan pada material pelapis yang mempengaruhi kemampuan difusi antar material dan ukuran partikel material yang disemprotkan. Meningkatnya suhu pemanasan akan meningkatkan kemungkinan difusi antar unsur yang bertabrakan. Pada *voltage* 26 V, suhu pemanasan material pelapis diposisi paling rendah dibandingkan 2 *voltage* lainnya, hal ini menyebabkan kemampuan difusi material berkurang dan menyebabkan nilai kekuatan ikatan yang rendah. Sedangkan pada *voltage* 38 V, suhu material pelapis berada pada posisi paling tinggi, hal ini menyebabkan peningkatan kemampuan difusi antar material sehingga nilai kekuatan ikatan semakin tinggi.

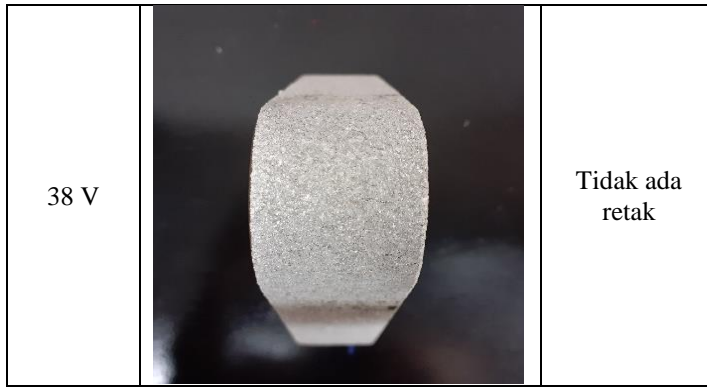
Sebuah lapisan aluminium harus memenuhi standar nilai minimal kekuatan ikatan sebesar 7 Mpa [10]. Dari hasil penelitian didapatkan lapisan yang memenuhi standar lapisan adalah lapisan yang disemprot dengan *voltage* 32 V dengan nilai kekuatan ikatan sebesar 8,67 Mpa dan lapisan yang disemprot dengan *voltage* 38 V dengan nilai sebesar 10,24 Mpa.

3.2 Pengujian *Bending*

Karakteristik ikatan yang terjadi antara material *coating* dan substrat selain dapat diketahui pengujian pull off, dilakukan juga pengujian *bending* untuk mengetahui kemampuan *bending* lapisan *coating*. Kemampuan *bending* didapatkan melalui analisa pengamatan secara visual pada penampang patah permukaan lapisan *coating* setelah uji *bending* dilakukan. Penampang patah permukaan uji *bending* ditunjukkan pada Tabel 2. Lapisan yang baik adalah lapisan yang memiliki kemampuan *bending* baik ditandai dengan tidak ada retakan ketika dibengkokkan [10].

Tabel 2. Penampang patah permukaan uji *bending*

<i>Voltage</i>	Gambar Spesimen	Keterangan
26 V		Retak dengan pengangkatan
32 V		Retak kecil



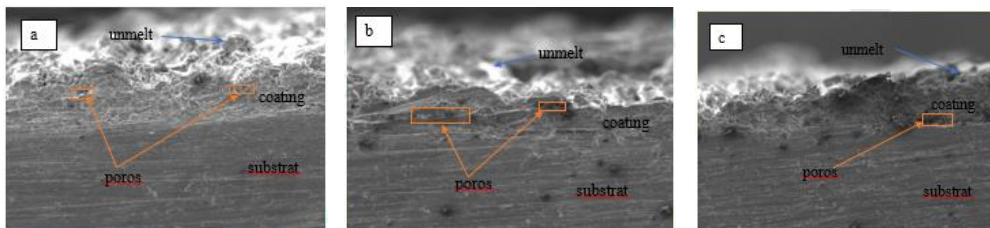
Pengujian *bending* menunjukkan kemampuan *bending* paling baik terdapat pada lapisan *coating* dengan *voltage* 38 V dimana aluminium masih menempel secara sempurna tanpa ada retakan seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.7. Kemampuan *bending* paling rendah ditunjukkan oleh lapisan *coating* dengan *voltage* 26 V dimana aluminium mengalami retak dan pengangkatan. Pada *voltage* 32 V penampang patah permukaan lapisan aluminium mengalami retak namun tidak terjadi pengangkatan. Hal ini menunjukkan lapisan aluminium yang disemprot menggunakan *voltage* 38 V memiliki kemampuan *bending* paling baik dengan mampu berdeformasi mengikuti deformasi baja selaku substrat tanpa adanya retakan lapisan *coating*.

Berdasarkan pengujian *bending* peningkatan *voltage* yang digunakan dalam proses *thermal spray* aluminium akan meningkatkan kemampuan *bending* lapisan *coating*. Dalam penelitian ini lapisan yang disemprot menggunakan *voltage* 38 V menunjukkan kemampuan *bending* paling baik dan memenuhi persyaratan pengujian *bending*, dimana pada penampang patah permukaan lapisan *coating* masih menempel sempurna pada substrat dan tanpa retakan setelah dibengkokkan [10].

3.3 Pengamatan Morfologi Penampang Lintang lapisan

a. Morfologi Lintang Lapisan

Pengamatan menggunakan alat *Scanning Electron Microscope* (SEM) dilakukan untuk mengetahui morfologi penampang lapisan material *coating* dengan perbedaan *voltage* yang digunakan dalam proses pelapisan. Pengamatan SEM bagian penampang melintang lapisan *coating* dilakukan untuk setiap variabel sampel dengan perbesaran 200 kali. Pada penampang melintang dapat dilihat morfologi bagian batas (*interface*) antara material substrat dan material *coating*. Morfologi lapisan terdiri dari struktur datar dan pipih, tetapi ada beberapa cacat pada hasil pelapisan. Pengamatan ini juga dapat digunakan untuk mengetahui cacat porositas atau adanya rongga pada lapisan *coating*. Hasil pengamatan SEM penampang melintang ditunjukkan pada Gambar 4.



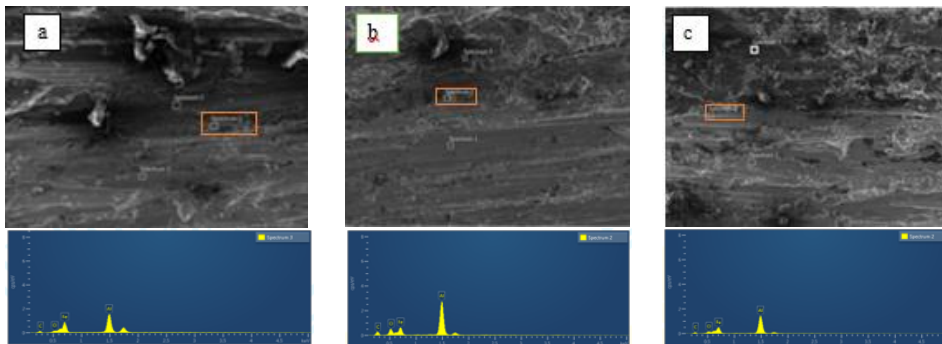
Gambar 4. Hasil pengamatan SEM penampang melintang perbesaran 200 kali (a) 26 V, (b) 32 V, (c) 38 V (skala 1:100 μ m).

Selama proses *thermal spray*, material cair disemprotkan ke permukaan substrat. Bahan yang disemprot membentuk lapisan pada permukaan substrat. Pada perbesaran 200 kali nampak lapisan *coating* memiliki tekstur yang berbeda dengan substrat dimana terlihat tekstur lapisan *coating* seperti tumpukan lelehan partikel yang berbentuk struktur datar dan pipih. *Coating* hasil dari proses *thermal spray* tersusun atas *layer* yang terbentuk dari partikel *melt*, partikel *semi-melt*, dan partikel *unmelt* [12]. Hasil proses *coating* pada gambar 3 (a), (b), (c) terlihat masing-masing terdapat porositas yang timbul di lapisan *coating*. Porositas pada lapisan terjadi karena udara yang terperangkap dalam lapisan

saat proses penyemprotan. Pada gambar 3 (a) terlihat memiliki permukaan yang lebih kasar dengan partikel *droplet* yang lebih besar. Terlihat juga material *coating* yang tidak meleleh secara sempurna (*unmelt*) dengan ukuran besar pada permukaan hasil *coating* dan ukuran porositas yang lebih besar. Pada gambar 3 (b) terlihat jumlah dan ukuran porositas berkurang dan nampak memiliki permukaan yang lebih merata dengan butiran partikel *droplet* yang lebih kecil dibandingkan *voltage* 26 V. Pada gambar 3 (c) terlihat memiliki permukaan yang lebih halus dengan ukuran partikel yang semakin kecil. Hasil pengamatan tersebut menunjukkan bahwa peningkatan *voltage* pada proses *thermal spray* aluminium berpengaruh pada struktur permukaan lapisan. Ukuran partikel yang semakin kecil menyebabkan permukaan lapisan yang semakin halus.

b. Analisa EDS

Analisa EDS dilakukan untuk mengetahui kandungan unsur dari material *coating* pada daerah batas material substrat. Material *coating* yang dilapiskan pada substrat adalah Aluminium 99%. pengamatan di lakukan pada area penampang lintang disetiap variasi tekanan proses hasil *coating* dengan perbesaran 1000 kali. Hasil pengamatan EDS ditunjukkan pada Gambar 5. Sedangkan komposisi unsur dari hasil pengamatan EDS pada lapisan coating ditunjukkan pada Table 3.



Gambar 5. Analisa EDS lapisan dengan *voltage* (a) 26 V, (b) 32 V, (c) 38 V

Tabel 3 Komposisi unsur pada lapisan (a) 26 V, (b) 32 V, (c) 38 V

Element	Atomic %		
	26 V	32 V	38 V
Al	31.03	33.45	39.73
Fe	8.37	30.36	28.89
C	35.68	15.38	21.59
O	19.81	18.54	7.39
Si	5.12	2.26	2.39
Total	100.00	100.00	100.00

Pada Gambar 5 menunjukkan pengamatan pada penampang lapisan spesimen *coating* dengan perbesaran 1000 kali. Pada perbesaran 1000 kali nampak warna lapisan *coating* aluminium lebih gelap dibandingkan substrat. Terlihat dengan jelas batas antara lapisan *coating* dan substrat. Tabel 3 menunjukkan kandungan unsur yang terdeteksi pada titik yang diambil pada *interface* lapisan *coating* menggunakan analisa EDS. Hasil pengamatan pada *voltage* 38 V didapatkan unsur Al, Fe, C, Si, O dengan nilai atom Al paling tinggi yaitu 39,73 %. Unsur Fe pada titik ini terdeteksi sebesar 28,89%.

Dari hasil pengamatan EDS pada penelitian ini dapat dilihat bahwa semua spesimen mengalami proses difusi. Proses difusi ditandai dengan ditemukannya unsur Al dan Fe pada satu titik yang sama. Al merupakan unsur utama dari material pelapis dan Fe merupakan unsur utama dari material substrat. Pada penelitian ini proses difusi yang baik ditunjukkan pada spesimen dengan *voltage* 38 V. Ditandai dengan unsur Al paling tinggi ditemukan pada *voltage* 38 V sedangkan unsur Al paling rendah ditemukan pada *voltage* 26 V. Hal ini terjadi karena *voltage* 38 V memiliki tingkat suhu pemanasan

material paling tinggi dari pada *voltage* 26 V dan 32 V. Suhu yang tinggi menyebabkan peningkatan kemungkinan difusi antara *coating* dan substrat.

Unsur O juga ditemukan pada semua spesimen percobaan. Hal ini terjadi karena udara bertekanan yang digunakan saat proses penyemprotan terperangkap didalam lapisan *coating*. Oksida yang terdapat pada pelapisan akan memberikan keuntungan sebagai aluminium oksida atau alumina yang merupakan bahan refraktori, bersifat keramik dan membentuk bahan keras yang akan meningkatkan kekerasan pelapisan [3].

4. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, didapatkan beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Peningkatan *voltage* pada proses *thermal spray* akan meningkatkan nilai kekuatan ikatan lapisan *coating* pada baja ST 60. Nilai kekuatan ikatan dengan pengujian *pull off adhesion* paling optimum terdapat pada *voltage* 38 V dengan nilai sebesar 10,48 MPa, Nilai tersebut telah memenuhi standar minimum nilai kekuatan ikatan untuk sebuah lapisan aluminium sebesar 7 MPa.
2. Peningkatan *voltage* pada proses *thermal spray* menghasilkan kemampuan *bending* lapisan *coating* yang lebih baik. Kemampuan *bending* paling baik dan memenuhi persyaratan pengujian *bending* ditunjukkan oleh lapisan *coating* yang disemprot menggunakan *voltage* 38 V, dimana pada penampang patah permukaan lapisan *coating* masih menempel secara sempurna pada substrat tanpa ada retakan.
3. Peningkatan *voltage* pada proses *thermal spray* menghasilkan partikel yang semakin kecil sehingga permukaan lapisan semakin halus dan meningkatkan kemampuan difusi antar material. Lapisan yang disemprot dengan *voltage* 38 V memiliki kemampuan difusi material paling baik karena suhu pemanasan yang tinggi, kemampuan difusi yang baik menghasilkan kekuatan ikatan yang tinggi.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. Kahar, A. Singh, . S. Dabhekar, U. Vala, B. Navadiya and . K. Patoliya, "Thermal Sprayed Aluminium Coatings: A Review," *International Journal for Research in Applied Science & Engineering Technology*, pp. 2321-9653, 2020.
- [2] N. Muhayat, I. Habibi, T. Triyono, S. I. Cahyono, E. Surojo and Triyono, "Effect Of The Substrate Surface Profile On The Bonding Strength Of The Aluminum Thermal Sprayed On The Low Carbon Steel," *Rekayasa Mesin*, pp. 591-604, 2021.
- [3] V. Sabrito, "Corrosion resistance and characterization of metallic coatings deposited by thermal spray on carbon steel," *Materials & Design*, pp. 282-288, 2012.
- [4] J. Davis, "Aluminum and Aluminum Alloys," in *ASM Handbook*, ASM International, 2001, pp. p351-416.
- [5] Y. Li, . J. Liu, J. Duan and B. Hou, "Thermally Sprayed Aluminium and Zinc Coatings for Tidal Zone," *Material Performance*, p. 16, 2006.
- [6] ASM International®, *Handbook of Thermal Spray Technology*, USA: Materials Park, 2004.
- [7] G. Jandin, H. Liao, Z. Feng and C. Coddet, "Correlations between operating conditions, microstructure and mechanical properties of twin wire arc sprayed steel coatings," *Materials Science and Engineering*, pp. 298-305, 2003.
- [8] Y. Peng, C. Zhang, H. Zhou and L. Liu, "On the bonding strength in thermally sprayed Fe-based," *Surf. Coatings Technol*, pp. 17-22, 2005.
- [9] Sarjito and Jokosisworo, "Analisa Kekuatan Puntir, Lentur Putar Dan Kekerasan Baja St 60 Untuk Poros Propeller Setelah Diquenching," *ROTASI*, pp. pp. 18-23, 2009.
- [10] M. H. a. Malek, N. H. Saad, S. K. Abas, N. N. Roselina and N. M. Shah, "Performance and Microstructure Analysis of 99.5% Aluminium Coating by Thermal Arc Spray Technique," *Procedia Engineering*, pp. 558-565, 2013.

- [11] S. Lampman, W. Scott, E. Marquard, H. Lampman, B. Musgrove, K. Dragolich and M. Schaefer, ASM Handbook Volume 9 Metalografi dan Struktur Mikro, www.asminternational.org: ASM Handbook, 2004.
- [12] L. Pawlowski, The Science and Engineering of Thermal Spray Coating Second Edition, England: John Wiley & Sons Ltd.: The Atrium, Southern Gate, Chichester, West Sussex PO19 8SQ, 2008.