

Pengembangan Lapisan Komposit 3YSZ - Al₂O₃ Pada Substrat Inconel Dengan Metode *Electrophoretic Deposition*

Jason Jeremy^{1*}, Prita Dewi Basoeki¹, Ani Sugiarti²

¹Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik, Universitas Katolik Indonesia Atma Jaya

²Laboratorium Lapisan Temperatur Tinggi, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI), Serpong, Indonesia

*E-mail: jasonjeremy@gmail.com

ABSTRAK

Logam paduan berbasis nikel, yang dikenal sebagai *superalloy*, memiliki ketahanan terhadap oksidasi dan deformasi lambat pada suhu tinggi, cocok untuk aplikasi di pesawat dan turbin gas. Namun, korosi tetap menjadi masalah pada suhu melebihi 800°C. Salah satu solusi untuk mengatasinya adalah dengan melapisi logam dengan lapisan tahan panas seperti keramik YSZ dan Al₂O₃. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa penambahan Al₂O₃ di atas 30% memiliki dampak negatif, oleh karena itu penelitian dilakukan untuk mengeksplorasi lapisan dengan komposisi 10% dan 20% Al₂O₃ menggunakan metode deposisi elektroforesis pada tegangan 20V, 40V, dan 60V di atas substrat Inconel. Penelitian menunjukkan 20% Al₂O₃ memiliki porositas 26% dan kekerasan maksimum 105,64 HV pada tegangan 20V.

Kata kunci : Al₂O₃; Deposisi Elektroforesis; Lapisan Pelindung Panas; YSZ

ABSTRACT

Nickel-based alloys, known as superalloys, exhibit high resistance to oxidation and slow deformation at elevated temperatures, making them suitable for aircraft and gas turbine applications. However, corrosion remains a challenge at temperatures exceeding 800°C. One solution is to coat the metal with heat-resistant layers such as YSZ and Al₂O₃ ceramics. Previous research indicates that adding Al₂O₃ above 30% has a negative impact. Therefore, a study was conducted to explore coatings with 10% and 20% Al₂O₃ compositions using electrophoretic deposition method at voltages of 20V, 40V, and 60V on an Inconel substrate. The study found that the 20% Al₂O₃ coating had a porosity of 26% and a maximum hardness of 105.64 HV at 20V voltage.

Keywords: Al₂O₃; Electrophoretic deposition; Thermal Barrier Coating, YSZ;

1. PENDAHULUAN

Logam memiliki berbagai aplikasi dalam kehidupan sehari-hari, tetapi rentan terhadap korosi akibat interaksi dengan lingkungan, seperti suhu, gas, atau larutan kimia. Bentuk korosi yang sering terjadi terutama pada logam antara lain *general attack corrosion*, *localized corrosion* seperti *pitting*, *crevice*, serta *galvanic corrosion*. Korosi dapat menyebabkan kerusakan pada struktur logam seperti jembatan, bangunan, dan alat transportasi, yang berpotensi menyebabkan kecelakaan. Korosi dapat dikendalikan laju

kecepatannya dengan memilih bahan yang tepat atau menggabungkan logam untuk meningkatkan ketahanan terhadap korosi. [1].

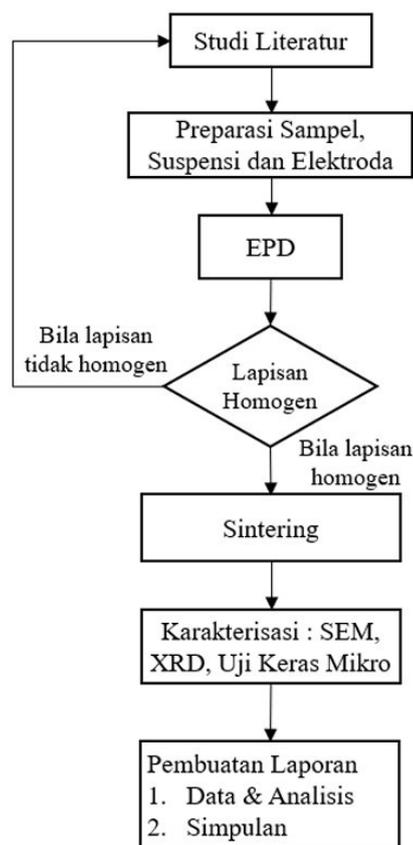
Nickel-based superalloys adalah logam paduan nikel, aluminium dan kromium yang dirancang untuk dapat bekerja pada suhu yang tinggi hingga temperatur 800°C. Struktur kristalnya yang merupakan *face-centered cubic* dengan fasa austenit, memungkinkan paduan ini mempertahankan kekuatannya pada suhu tinggi, serta memiliki ketahanan yang baik terhadap oksidasi dan *creep*. Karakter tersebut membuat logam ini

cocok digunakan dalam pembuatan pesawat, turbin gas, maupun *spacecraft*. Namun, pada suhu di atas 800°C, kekuatannya menurun bersamaan dengan ketahanan oksidasinya jika terus menerus diekspos pada suhu yang sangat tinggi. [2]. Salah satu solusi adalah dengan melapisi dengan keramik TBC yang terdiri dari *top-coat*, *thermally grown oxide* (TGO), dan *bond-coat*. Lapisan ini menjadi pelindung temperatur tinggi karena konduktivitas termal yang rendah sehingga melindungi substrat dari temperatur tinggi. YSZ ditambah dengan Al₂O₃ (alumina) menjadikan kandidat lapisan komposit keramik sebagai top coat yang efektif. YSZ memiliki performa yang baik pada suhu tinggi dan penambahan alumina pada YSZ dapat menurunkan difusivitas termal [3].

Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa penambahan alumina dapat meningkatkan kepadatan lapisan. Namun, penambahan tersebut juga dapat mengakibatkan ketidakhomogenan lapisan. Penambahan Al₂O₃ di atas 30% menghasilkan efek negatif, menurut penelitian terdahulu [4]. Penambahan 30% alumina pada suspensi menurunkan densitas lapisan hasil EPD, sedangkan penambahan alumina 40% dapat menyebabkan lapisan terdeposisi tidak homogen mengakibatkan nilai konduktivitas suspensi menurun [5]. Mengacu pada penelitian yang telah dilakukan, penambahan alumina di atas 30% menghasilkan pengaruh yang negatif sehingga dalam penelitian ini akan dikaji penambahan alumina di bawah 30% pada suspensi menggunakan metode EPD. [4,5].

2. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini didesain secara sistematis agar mencapai tujuan penelitian. Tahapan penelitian tersaji pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Penelitian ini diawali dengan persiapan sampel, suspensi, dan elektroda. Sampel yang digunakan adalah Inconel 625 dengan komposisi kimia sesuai dengan Tabel 1 [6]. Sampel berdimensi 15x15x1,3mm dan diampelas menggunakan kertas abrasif dari #100 hingga #1000 dengan air mengalir. Selanjutnya sampel dimasukkan ke dalam aseton dan dibersihkan menggunakan *ultrasonic bath*. Hasil sampel setelah preparasi dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Sampel Inconel-625

Tabel 1. Komposisi Kimia Inconel-625

Unsur	Wt%
Nikel (Ni)	58
Kromium (Cr)	20,0-23,0
Baja (Fe)	5
Molibdenum (Mo)	8,0-10,0
Niobium (Nb)	3,15-4,15
Karbon (C)	0,10
Magnesium (Mg)	0,5
Fosforus (P)	0,015
Silikon (Si)	0,5
Sulfur (S)	0,015
Aluminium (Al)	0,4
Titanium (Ti)	0,4
Kobalt (Co)	1,0

Selanjutnya suspensi disiapkan dengan komposisi Al₂O₃ sebesar 10% dan 20%, menggunakan pelarut etanol dan aseton dengan tambahan Iodin. Campuran aseton dan etanol memungkinkan untuk mendapatkan viskositas cairan yang baik dan juga proses pengeringan yang cepat [7]. Penggunaan Iodin dapat meningkatkan zeta potensial untuk stabilitas suspensi sehingga dapat membuat lapisan homogen [8]. Komposisi suspensi dapat dilihat pada Tabel 2. Elektroda yang dipakai adalah 2 lembar nikel dengan luar area 32x100 mm, dimana sampel yang akan dilapisi berada di tengah tengahnya. Elektroda kemudian dihubungkan ke tegangan DC 20V selama 24 jam. Pemilihan volt sebesar 20V ini dilakukan untuk menjaga agar lapisan memiliki porositas tertentu untuk mendapatkan insulasi optimum [9].

Tabel 2. Komposisi Suspensi

No	Bahan	Suspensi 10% Al ₂ O ₃	Suspensi 20% Al ₂ O ₃
1	YSZ	9g/L	8g/L
2	Al ₂ O ₃	1g/L	2g/L
3	Iodin	0.5g/L	0.5g/L
4	Aseton	150mL	150mL
5	Etanol	50mL	50mL

Proses selanjutnya setelah EPD adalah sintering, yaitu proses pemanasan pada suhu 1200°C dengan gas argon. Alat sintering dapat dilihat pada Gambar 3. Proses ini akan mematangkan lapisan hasil EPD dan mengubah alumina menjadi fasa alfa-alumina. Setelah lapisan sudah terpadatkan, karakterisasi menggunakan SEM (*Scanning Electron Microscope*), XRD (*X-Ray Diffraction*), dan tes kekerasan mikro vickers dilakukan.

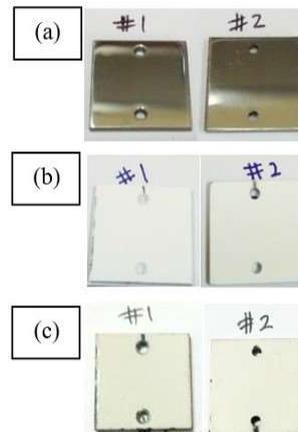


Gambar 3. Tungku Sinterring

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Sampel dan Hasil Lapisan

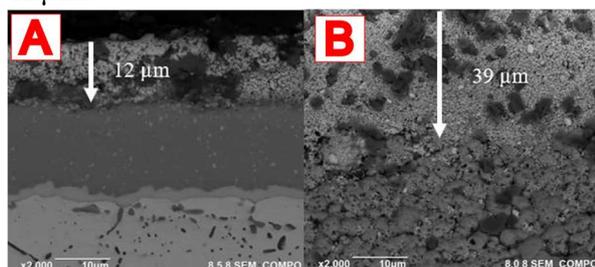
Sampel sebelum, setelah EPD, dan sesudah sintering dapat dilihat pada Gambar 4. Secara visual terlapisi hampir seluruh bagian permukaannya tanpa adanya *crack*. Lapisan setelah sintering telah menjadi matang dengan terbentuknya lapisan yang solid, tidak rapuh, dan tidak mudah terkelupas.



Gambar 4. Sampel Sebelum EPD (a); Setelah EPD (b); dan Setelah Sinterring (c)

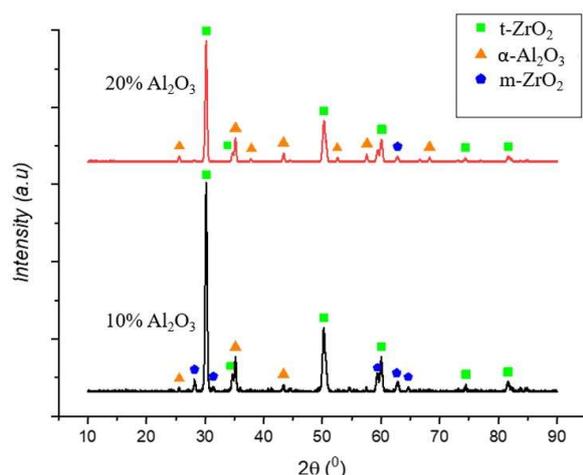
3.2 Karakterisasi SEM

Scanning Electron Microscope (SEM) dilakukan pada penampang melintang untuk melihat lapisan keramik yang terbentuk. Hasil SEM pada penampang melintang dapat dilihat pada Gambar 5. Penambahan komposisi Al₂O₃ sebanyak 20% menghasilkan *top-coat* yang lebih tebal yaitu 39 μ m dibandingkan dengan komposisi 10% Al₂O₃ yang hanya 12 μ m.



Gambar 5. Hasil SEM Penampang Melintang

3.3 Karakterisasi XRD



Gambar 6. Grafik XRD Komposisi Lapisan

Karakterisasi XRD dilakukan pada lapisan yang terbentuk untuk mendapatkan komposisi kimia beserta fasanya. Hasil karakterisasi XRD dalam bentuk grafik seperti Gambar 6 kemudian dicocokkan dengan metode Rietveld Refinement dan hasilnya dapat dilihat pada Tabel 3. Dari tabel tersebut ditunjukkan bahwa komposisi Al₂O₃ yang terdepositasi sesuai dengan persentase Al₂O₃ dalam suspensi. YSZ dengan fasa monoklinik lebih banyak ditemukan pada suspensi dengan kadar 10% Al₂O₃. Sedangkan hampir seluruh YSZ pada suspensi dengan kadar 20% Al₂O₃ berfasa tetragonal. Ini berarti penambahan Al₂O₃

berperan dalam menstabilkan YSZ pada fasa tetragonalnya sehingga tidak kembali ke fasa monokliniknya.

Tabel 3. Komposisi Lapisan 10% dan 20% Al₂O₃

Komposisi Kimia	10% Al ₂ O ₃	20% Al ₂ O ₃
t-ZrO ₂	81,3	78,9
α-Al ₂ O ₃	10,4	20,4
m-ZrO ₂	8,4	0,7
t-ZrO ₂ :m-ZrO ₂	9,68	112,71

3.4 Pengujian Vickers Hardness

Tabel 4. Data Pengujian Kekerasan Lapisan Vickers Hardness

Titik	10% Al ₂ O ₃	20% Al ₂ O ₃
1	92,1	105
2	93,6	106
3	93,8	105,9
4	90,2	107,1
5	91,5	104,2
\bar{x}	92,24	105,64

Pengujian selanjutnya adalah menguji kekerasan lapisan dengan *vickers hardness*. Hasil dari pengujian dapat dilihat pada Tabel 4. Berdasarkan hasil ini dapat terlihat bahwa kekerasan dari lapisan dengan komposisi 20% Al₂O₃ memiliki kekerasan yang lebih tinggi. Sesuai dengan komposisinya dimana terdapat lebih banyak α -Al₂O₃ yang memiliki kekerasan 1650 VHN, lebih tinggi daripada YSZ yang hanya 1250 VHN. Semakin banyaknya komposisi Al₂O₃ yang terdepositasi dapat meningkatkan kekerasan dari lapisan *thermal barrier coating*.

SIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang sudah dilakukan, dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Suspensi berhasil disintesis dan terdepositasi pada komposisi 10% dan 20% Al₂O₃ pada tegangan yang bervariasi

- 20V terbukti dengan terbentuknya lapisan pada permukaan substrat.
2. Penambahan komposisi Al₂O₃ dari 10% menjadi 20% meningkatkan massa yang terdeposisi pada substrat sehingga membuat lapisan keramik menjadi lebih tebal dari 12 µm menjadi 39 µm.
 3. Penambahan 20% Al₂O₃ menstabilkan fasa tetragonal zirconia yang terbentuk pada lapisan.
 4. Komposisi 20% Al₂O₃ memiliki kekerasan lapisan yang lebih tinggi yaitu kekerasan 105 HV dibandingkan dengan lapisan 10% Al₂O₃ yang memiliki kekerasan 92,24 %.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Fontana, M. G., (1986): Corrosion Engineering, McGraw Hill, United States.
- [2] P. C. Gasson, "The Superalloys: Fundamentals and Applications R. C. Reed Cambridge University Press, The Edinburgh Building, Shaftesbury Road, Cambridge, CB2 2RU, UK, 2006. 372pp. Illustrated. £80. ISBN 0-521-85904-2,," The Aeronautical Journal, vol. 112, no. 1131. Cambridge University Press (CUP), hlm. 291–291, Mei 2008. doi: 10.1017/s0001924000087509.
- [3] K. Dychtoń, M. Drajewicz, M. Pytel, P. Rokicki, dan A. Nowotnik, "Yttria-stabilized zirconia–alumina composite sintering temperature effect on thermal diffusivity," Journal of Thermal Analysis and Calorimetry, vol. 126, no. 1. Springer Science and Business Media LLC, hlm. 1–7, Agu 31, 2016. doi: 10.1007/s10973-016-5788-9.
- [4] E. G. Kalinina, A. A. Efimov, dan A. P. Safronov, "Preparation of YSZ/Al₂O₃ composite coatings via electrophoretic deposition of nanopowders," Inorganic Materials, vol. 52, no. 12. Pleiades Publishing Ltd, hlm. 1301–1306, Nov 05, 2016. doi: 10.1134/s0020168516110054.
- [5] Y. Xu dkk., "Thermal Properties and Microstructures Analysis of YSZ and YSZAl₂O₃ Thermal Barrier Coatings," Journal of Thermal Spray Technology, vol. 29, no. 4. Springer Science and Business Media LLC, hlm. 574–581, Feb 19, 2020. doi: 10.1007/s11666-020-00996-w.
- [6] Special Metals Corp., (2013): INCONEL alloy 625, Special Metals Datasheets, 25(2), pp. 1–28.
- [7] L. BESRA dan M. LIU, "A review on fundamentals and applications of electrophoretic deposition (EPD)," Progress in Materials Science, vol. 52, no. 1. Elsevier BV, hlm. 1–61, Jan 2007. doi: 10.1016/j.pmatsci.2006.07.001.
- [8] O. Khanali, S. Baghshahi, dan M. Rajabi, "Fabrication and characterization of YSZ/Al₂O₃ nano-composite coatings on Inconel by electrophoretic deposition," Journal of Materials Research, vol. 32, no. 17. Springer Science and Business Media LLC, hlm. 3402–3408, Jul 10, 2017. doi: 10.1557/jmr.2017.258.
- [9] Y. Zhao dkk., "Porous architecture and thermal properties of thermal barrier coatings deposited by suspension plasma spray," Surface and Coatings Technology, vol. 386. Elsevier BV, hlm. 125462, Mar 2020. doi: 10.1016/j.surfcoat.2020.125462.