

ANALISA PENGARUH VARIASI KONSENTRASI PELAPISAN POLYSILAZANE PADA PERMUKAAN SUDU TURBIN SS 410 DALAM PENINGKATAN SIFAT MEKANIK

PAKHRI MANARUL HIKAM^{1*}, YUSRIL IRWAN¹, M. HANS ARNALDO²

¹Institut Teknologi Nasional Bandung
Email: pakhrimanarul@mhs.itenas.ac.id

Received 01 02 2024 | *Revised* 08 02 2024 | *Accepted* 08 02 2024

ABSTRAK

Sudu turbin uap adalah komponen utama dalam turbin uap yang mengalami keausan akibat gesekan dengan fluida panas yang mengalir. Selain itu sudu turbin juga mengalami korosi akibat kandungan asam yang terkandung pada uap dan erosi akibat tekanan tinggi. Untuk mengatasi masalah tersebut, permukaan sudu turbin uap akan dilapisi dengan Organik dan Inorganik Polysilazane. Pengujian yang akan dilakukan untuk mengetahui performa lapisan polisilazane pada sudu turbin antara lain pengujian kekerasan dengan pencil hardness test, menganalisa daya rekat lapisan dengan Cross Cut Adhesion test dan untuk mengetahui daya rekat film yang terbentuk dari reaksi polysilazane melalui scanning electron microscope terhadap substrat.

Keywords *Polysilazane, Korosi, Sudu Turbin Uap.*

ABSTRACT

The steam turbine blade is the main component in the steam turbine which experiences wear due to friction with the flowing hot fluid. Apart from that, turbine blades also experience corrosion due to the acid content contained in the steam and erosion due to high pressure. To overcome this problem, the surface of the steam turbine blade will be coated with organic and inorganic polysilazane. Tests that will be carried out to determine the performance of the polysilazane layer on the turbine blade include hardness testing with a pencil hardness test, analyzing the adhesion of the coating with the Cross Cut Adhesion test and to determine the adhesive strength of the film formed from the polysilazane reaction using a scanning electron microscope on the substrate.

Keywords: *Polysilazane, Korosi, Sudu Turbin Uap.*

1. PENDAHULUAN

Turbin uap adalah perangkat yang digunakan untuk mengubah energi termal dari uap menjadi energi mekanik yang dapat digunakan untuk menggerakkan generator listrik, kompresor, atau mesin lainnya. Turbin uap bekerja berdasarkan prinsip dasar bahwa uap bertekanan tinggi mengalir melalui sudu- sudu turbin dan mendorong sudu-sudu tersebut, yang kemudian menghasilkan putaran pada poros turbin. Putaran poros ini dapat digunakan untuk menghasilkan daya mekanik yang dapat dikonversi menjadi daya listrik atau digunakan untuk tujuan mekanik lainnya.

Namun, dalam operasi turbin uap, tekanan panas dan kecepatan aliran uap yang tinggi dapat menyebabkan masalah seperti korosi dan erosi pada sudu- sudu turbin. Erosi adalah abrasi atau pengikisan pada permukaan logam yang disebabkan oleh partikel-partikel yang terdapat dalam aliran uap. Tekanan tinggi dan kecepatan aliran uap dapat membuat partikel-partikel ini bertindak seperti pasir mengikis permukaan sudu-sudu turbin.

Untuk mengatasi masalah ini penelitian ini akan memfokuskan pada penggunaan nanomaterial Polysilazane sebagai solusi potensial untuk meningkatkan ketahanan terhadap korosi dan erosi pada sudu turbin. Polysilazane adalah bahan yang menjanjikan dalam hal

ketahanan terhadap suhu tinggi dan erosi, dan penggunaannya sebagai nanomaterial dapat membuka peluang baru dalam meningkatkan performa Sudu turbin pada mesin Turbin Uap.

Melalui penelitian ini, diharapkan dapat ditemukan solusi inovatif untuk meningkatkan ketahanan Sudu Turbin terhadap panas korosi dan erosi, yang akan menghasilkan umur pakai yang lebih panjang. Dengan peningkatan ini, industri permesinan akan dapat mencapai kemajuan signifikan dalam hal teknologi komponen mesin, yang akan berdampak positif pada berbagai sektor industri.

2. METODOLOGI

2.1 Jenis Coating Dan Formula

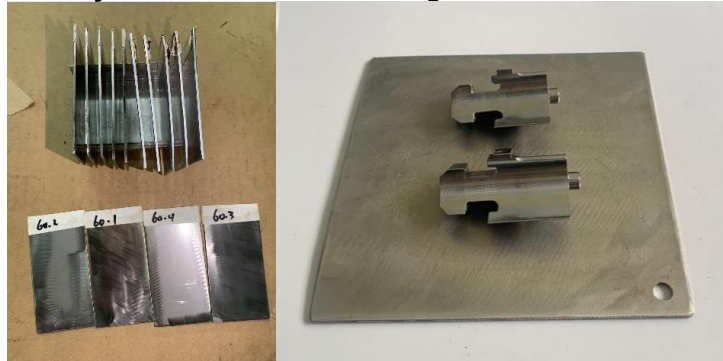
Jenis Polysilazane yang digunakan adalah Durazane®1800 dari Merck® dan IOTA PHPS dari china yang masing - masing polysilazane organik dan anorganik. Beberapa zat aditif akan dicampurkan dengan Durazane®1800 serta Perhydropolysilazane untuk meningkatkan fungsinya terutama dalam ketahanan terhadap aus dan panas.

Table 1. Komposisi Durazane 1800 yang di gunakan

FORMULA 1	PRESENTASE % (VOLUME)	KETERANGAN
Durazane 1800	80% (40 ml)	Encerkan dalam durazane 1800 pada suhu 40-45°C
Dicumyl peroxide	10% (5 ml)	
Fumed Silica	10% (5 ml)	
FORMULA 2	PRESENTASE % (VOLUME)	KETERANGAN
Durazane 1800	60% (30 ml)	Encerkan dalam durazane 1800 pada suhu 40-45°C
Dicumyl peroxide	20% (10 ml)	
Fumed Silica	20% (10 ml)	
FORMULA 3	PRESENTASE % (VOLUME)	KETERANGAN
Durazane 1800	40% (20 ml)	Encerkan dalam durazane 1800 pada suhu 40-45°C
Dicumyl peroxide	30% (15 ml)	
Fumed Silica	30% (15 ml)	

2.2 Preparasi spesimen

Penelitian ini menggunakan beberapa alat yang yaitu gelas ukur 80 ml sebanyak 3 unit, batang pengaduk sebanya 1 unit, sarung tangan nitrill, kaca mata *safety*, jas laboratorium dan lap *microfiber*. Spesimen yang digunakan adalah permukaan dari Sudu Turbin *Curtis* yang materialnya adalah baja *stainless steel*/410 sebagai substrat.



Gambar 1. Spesimen berupa sudu turbin dan plat

Proses pelapisan dilakukan dengan metode pencelupan sesuai standar penerapan nanocoating di bidang otomotif. Masing-masing spesimen dilapisi satu lapis dalam ruangan tertutup bebas debu pada suhu ruangan $\pm 25^{\circ}\text{C}$ dan RH 80% serta tidak terkena sinar matahari langsung. Setelah proses pengaplikasian, spesimen didiamkan selama 10-15 menit kemudian dilanjutkan dengan proses thermal curing pada suhu $180 - 220^{\circ}\text{C}$ selama satu jam.

3.1 Coating Performance

Setelah proses pelapisan, spesimen diuji dengan beberapa metode untuk mengevaluasi kinerjanya.

1. Uji Adhesi.

Uji daya rekat untuk menilai apakah lapisan sudah melekat sempurna pada substrat atau belum. metode pita potong silang (ASTM D3359) digunakan untuk mengevaluasi daya rekat lapisan pada substrat. Dua benda uji berdimensi $100 \times 300 \times 0,4$ mm dengan dan tanpa pelapis Durazane 1800 diuji.

2. Uji Kekerasan

Uji kekerasan digunakan untuk mengevaluasi nilai kekerasan permukaan Durazane 1800 pada substrat. Proses pengujian menggunakan Mitsubishi Pencil Hardness Tester (ASTM D3363) dan dilakukan pada benda uji pelat baja berukuran $(300 \times 300 \times 0,5)$ mm yang dilapisi Durazane® 1800 Organic Polysilazane. Pensil yang digunakan adalah 6B, 5B, 4B, 3B, 2B, B, HB, F, H, 2H, 3H, 4H, 5H, 6H, 7H, 8H, 9H. Beban yang dipasang pada tempat pensil adalah 750 gram, dan sudut pensil pada pengujian adalah 45°

3. Pemindaian Mikroskop Elektron (SEM)

Kemudian diamati struktur mikro permukaan pelapis menggunakan Scanning Electron Microscope (SEM) menggunakan mesin Hitachi® SU3500. Pengujian dilakukan untuk mengetahui morfologi permukaan dan ketebalan film Durazane 1800 Organic Polysilazane yang dilapisi pada spesimen header knalpot. SEM menghasilkan gambar permukaan substrat yang dilapisi Durazane 1800 dengan memindai permukaan substrat menggunakan berkas elektron terfokus.

4. Uji Ketahanan Korosi Suhu Tinggi

Terakhir, untuk mengevaluasi ketahanan korosi pada bahan pelapis, dilakukan uji Ketahanan Korosi Suhu Tinggi. Seperti disebutkan, penerapannya menentukan kinerja Durazane® 1800 Organic Polysilazane dalam melindungi substrat dari korosi suhu tinggi. Pengujian dilakukan dengan metode Copper Accelerated Salt Spray Test (CASS) dengan standar ASTM B117 dan

JIS K 5400.

Testing condition : (ASTM B117 Standard). Pengujian dilakukan pada suhu ruangan di dalam corrosion chamber.

1. Rentang nilai pH larutan garam : 6,5 – 7,2
2. Atmosfer garam 5 % natrium klorida dengan 95% air ASTM D1193 Tipe IV, dimasukkan kedalam ruang pada tekanan udara tertentu.
3. Waktu pengujian : 24 jam, 48 jam, 72 jam

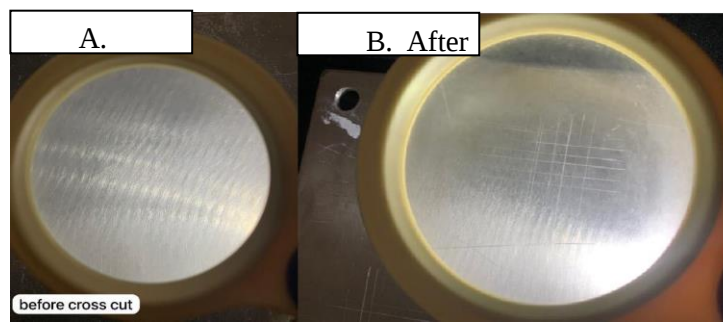
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Tests conducted to determine the characteristics of the Durazane® 1800 Organic Polysilazane coating for corrosion resistance include:

3.1 Adhesion test

Hasil pengujian ditunjukkan pada Gambar 2 Benda uji dibagi menjadi dua bagian yang sebelum di uji

(A) dan sesudah di uji (B).



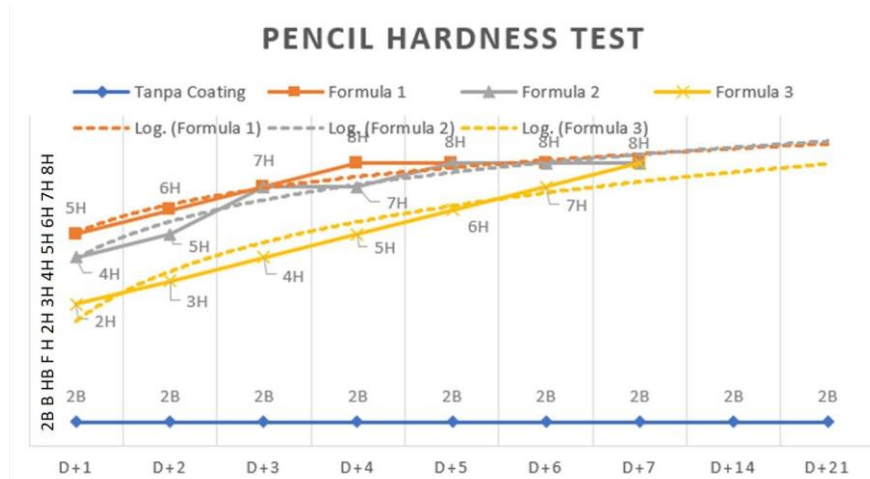
Gambar 2. Hasil Uji Cross Cut Tape pada Lapisan Coating Durazane®1800 ; a) sebelumnya, b) Setelah

Hasil pengujian menunjukkan untuk benda uji yang dilapisi, lapisannya tidak terkelupas setelah pita perekat dilepas yang menunjukkan daya rekat yang baik antara permukaan dan lapisan atas (Gambar 2b). Tingkat adhesivitas lapisan nanocoating Durazane 1800 Organic Polysilazane sangat baik dengan menunjukkan nilai "5B" sesuai standar klasifikasi ASTM D3359. Nilai "5B" menunjukkan bahwa tepi potongan uji potong silang yang dibuat seluruhnya halus, tidak ada kotak kisi yang terkelupas, dan terdapat ikatan yang baik antara substrat dan lapisan pelapis. Hal ini dikarenakan porositas pada permukaan substrat terisi sempurna oleh Durazane 1800 Organic Polysilazane yang memiliki ukuran nano. Besarnya dan besar kecilnya porositas mempengaruhi tingkat kelengketan pada permukaan substrat. Misalkan porositas tidak terisi oleh pelapis dengan sempurna. Dalam hal ini dibuat rongga antara permukaan substrat dan lapisan pelapis untuk mengurangi tingkat kelengketan antara permukaan substrat dan lapisan pelapis [8]. Penelitian sebelumnya juga menjelaskan bahwa pelapisan menghasilkan daya rekat yang baik jika pelapisan tersebut masuk ke dalam pori-pori substrat. Ukuran partikel pelapis yang mencapai nanometer membuat bahan pelapis mampu mengisi rongga permukaan substrat pelat baja dengan baik sehingga daya rekatnya akan lebih baik.

3.2 Hardness Test

Uji kekerasan diamati selama 16 hari. Hasilnya terlihat pada Gambar 3. Pada hari pertama dan kedua setelah pelapisan, nilai kekerasan benda uji yang dilapisi dan tidak dilapisi berbeda, yaitu nilai skala 2B tanpa coating dan 2H pada yang di coating. Pelapisan belum maksimal karena waktu pemeraman sehingga tidak berpengaruh terhadap kekerasan lapisan.

Pada hari ke empat sampai hari ketujuh setelah pelapisan, nilai kekerasan benda uji yang dilapisi meningkat dari 2H.4H.5H menjadi 8H, sedangkan benda uji yang tidak dilapisi tetap sama. Setelah enam hari nilai kekerasan tidak meningkat lagi. Hal ini menyatakan bahwa



kekerasan lapisan Polysilazane pada substrat logam berada pada skala 8H.

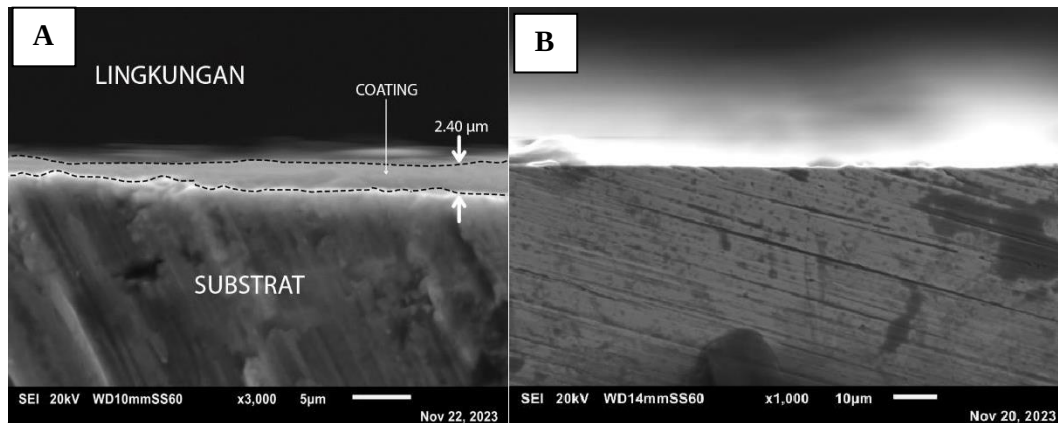
Gambar 3. Kurva Hasil Uji Kekerasan Pensil Pelapis Durazane®1800 + PHPS Selama 7 Hari

Diketahui nilai kekerasan substrat pelat tanpa dilapisi Durazane 1800 Organic Polysilazane adalah 2B. Hal ini juga menyatakan bahwa pelapisan Durazane 1800 Organic Polysilazane+PHPS dapat meningkatkan kekerasan permukaan substrat. Penelitian serupa lainnya menjelaskan bahwa ketebalan film nanocoating dan kekerasan film nanocoating berkorelasi negatif [9], [10]. Sifat kristalin yang berukuran nano menyebabkan tidak adanya batas tipis atau celah antara permukaan film nanocoating dan substrat seperti yang terjadi pada pelapis selain nanocoating, pada saat yang sama sifat nanokristalin dari film pelapis memperbaiki ketidakteraturan struktur permukaan substrat [11].

Berdasarkan teori Hall-Petch, seiring dengan mengecilnya ukuran butir, dislokasi struktural pun berkurang, dan proses ini meningkatkan kekuatan [12]. Ketika ukuran butir material mendekati skala nano maka peningkatan kekuatan yang terjadi sangat signifikan (teori Hall-Petch), hal ini terjadi karena tingginya proporsi batas butir dimana dislokasi dapat menjadi tidak bergerak [13]

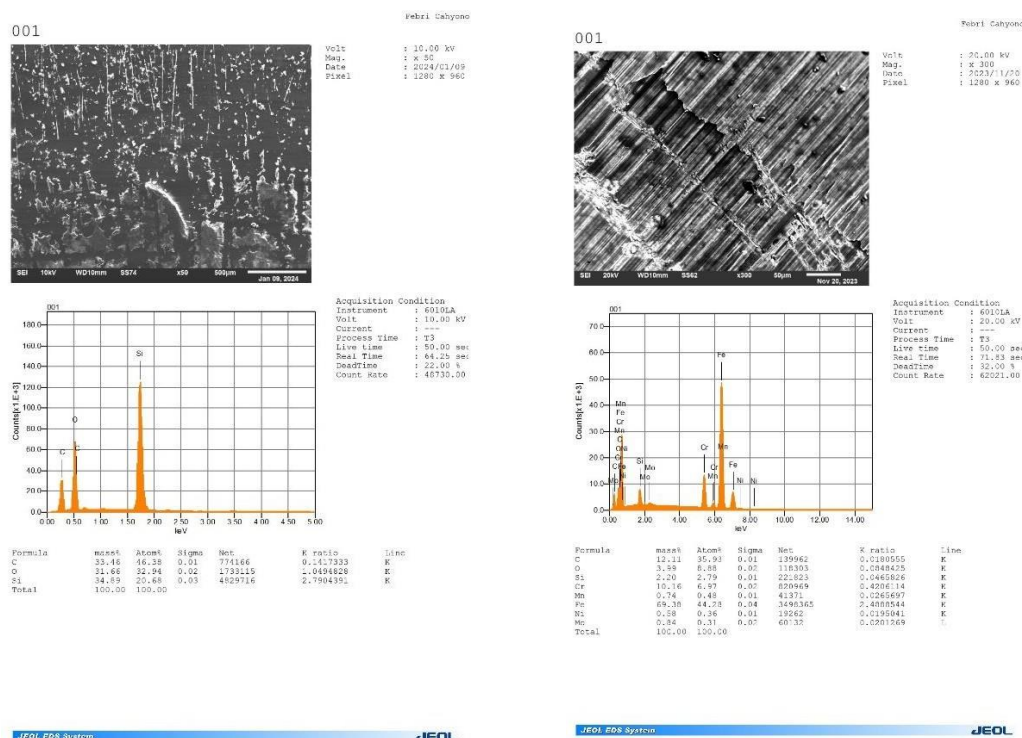
3.3 Scanning Electron Microscope (SEM)

Pengamatan dilakukan pada knalpot yang dilapisi Durazane® 1800, Spesimen yang telah di coating nantinya langsung di uji untuk dapat di lihat ketebalan coatingnya, Untuk melihat kondisi permukaan dan durabilitas dalam skala micron lapisan Durazane®1800 dan IOTA PHPS dilapis pada permukaan piston, setelah diuji ketebalan dan morfologinya menggunakan mesin SEM (*Scanning Electron Microscope*)



Gambar 4. Gambar SEM a) substrat berlapis b) substrat tidak dilapisi

Gambar 4a menunjukkan bahwa permukaan Sudu turbin sebelum dilakukan pelapisan tidak ada perlindungan coating, mempunyai porositas yang cukup banyak, dan berukuran besar sehingga menyebabkan kotoran meresap ke dalam porositas dan tertinggal pada permukaan logam sehingga dapat meningkatkan daya rekatnya. laju korosi. Namun setelah dilapisi dengan Durazane® 1800 Organic Polysilazane (Gambar 4b) dengan perbesaran 3.000 kali terlihat bahwa lapisan film Durazane® 1800 Organic mampu menutupi dan mengisi porositas pada permukaan substrat yang tidak rata sehingga meningkatkan daya rekat antar lapisan Durazane® 1800 Organic Polysilazane dan permukaan substrat.



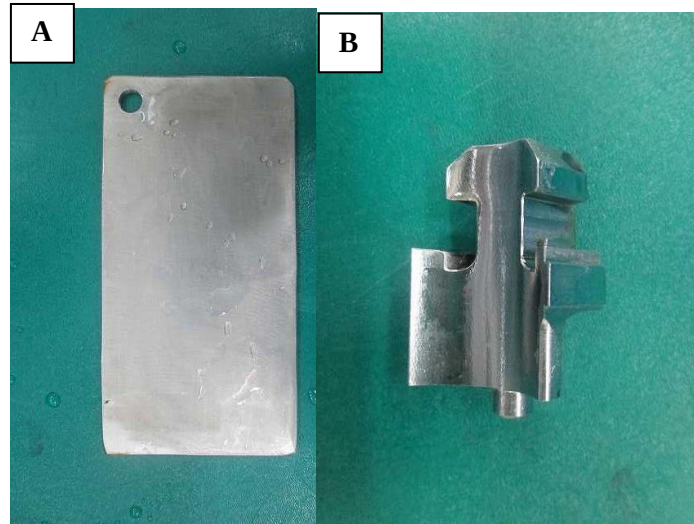
Gambar 5. Hasil EDS a) substrat berlapis b) substrat tidak dilapisi

Gambar 5a menunjukkan bahwa permukaan sudu turbin sebelum dilakukan pelapisan sangat tidak rata, mempunyai porositas yang cukup banyak, dan berukuran besar sehingga menyebabkan kotoran meresap ke dalam porositas dan tertinggal pada permukaan logam sehingga dapat meningkatkan daya rekatnya. laju korosi. Namun setelah dilapisi dengan Durazane® 1800 Organic Polysilazane (Gambar 5a) dengan perbesaran kali terlihat bahwa

ANALISA PENGARUH VARIASI KONSENTRASI PELAPISAN POLYSILAZANEPADA PERMUKAAN SUDU TURBIN SS 410 DALAM PENINGKATAN SIFAT MEKANIK

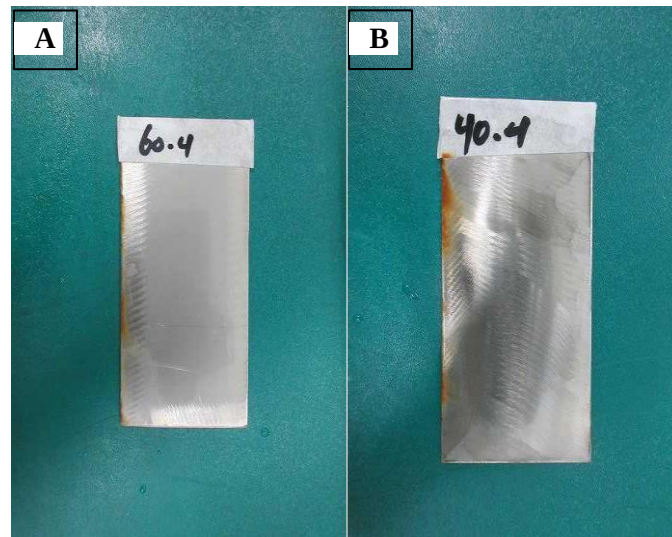
lapisan film Durazane® 1800 Organic mampu menutupi dan mengisi porositas pada permukaan substrat yang tidak rata sehingga meningkatkan daya rekat antar lapisan Durazane® 1800 Organic Polysilazane dan permukaan substrat.

3.4 High Temperature Corrosion Resistance test



Gambar 6. a) Benda uji pelat, b) Benda uji sudu turbin setelah uji semprotan garam dengan ph 6.5- 7,2 selama 72 jam (ASTM B117)

Gambar 6a menunjukkan bagian A dan B yang dilapisi dengan kandungan Durazane 1800 80% + PHPS 3% tidak mengalami korosi permukaan setelah terkena zat korosif, dan pada bagian Metode dan standar yang sama (ASTM B117)



Gambar 7.1 a) Plat dengan formula 60%, b) Plat dengan formula 60%, ASTM B117)

Gambar 7.1.A. menunjukkan bagian A yang dilapisi dengan formula 60 % mengalami korosi pada bagian samping permukaan setelah terkena zat korosif dengan Metode dan standar yang sama (ASTM B117).



Gambar 7.2 a) Plat dengan coating b) Plat tanpa coating

Gambar 7a menunjukkan bagian A yang tidak dilapisi mengalami korosi permukaan yang parah setelah terkena zat korosif pada suhu tinggi, sedangkan bagian B yang dilapisi tidak mengalami korosi permukaan. Metode dan standar yang sama (ASTM B117) dilakukan pada plat yang telah dibagi menjadi permukaan yang dilapisi dan tidak dilapisi. Gambar 7b, permukaan plat yang dilapisi Durazane®1800+PHPS tidak mengalami korosi sedangkan bagian yang tidak dilapisi mengalami korosi yang cukup parah.

4. KESIMPULAN

Lapisan Durazane® 1800 Organic Polysilazane dengan formula 80% dan PHPS 3% terbukti mampu meningkatkan nilai kekerasan permukaan logam hingga skala pensil 8H.

Durazane® 1800 Organic Polysilazane mampu melapisi substrat logam dengan daya rekat sangat tinggi, dibuktikan dengan nilai uji adhesi cross-cut yang menunjukkan klasifikasi 5B sesuai standar ASTM D3359. Hal ini menunjukkan bahwa lapisan film Durazane® 1800+PHPS Organic & Inorganic Polysilazane tidak mudah terkelupas.

Durazane® 1800 Organic Polysilazane memiliki daya tahan yang baik dan daya rekat yang tinggi, hal ini ditunjukkan dari foto Scanning Electron Microscope yang menunjukkan lapisan film masih menempel dengan baik pada substrat yang terkena suhu tinggi. Daya rekat yang tinggi ini akan membuktikan bahwa lapisan Durazane® 1800 mampu melindungi permukaan sudu turbin.

Ketahanan korosi pada lapisan durazane 1800 menunjukkan hasil yang baik dan kurang baik, dibuktikan dengan kondisi benda uji dengan formula 80% yang tidak terkorosi sama sekali pada bagian yang dilapisi durazane 1800 saat diuji dengan Salt Spray menggunakan standar ASTM B117. Namun ternyata larutan durazane 1800 yang digunakan pada penelitian ini tidak efektif dalam melindungi substrat dari laju korosi ketika diuji pada dengan formula dan kondisi yang berbeda. Uji semprotan garam dengan standar JIS K 5400 menunjukkan bahwa benda uji yang dilapisi durazane 1800 mengalami korosi parah.

5. DAFTAR PUSTAKA

J. M. López, F. J. Gordillo-Vázquez, O. Böhme, and J. M. Albella, "Low grain size TiN thin films obtained by low energy ion beam assisted deposition," *Appl Surf Sci*, vol. 173, no. 3–4, pp. 290–295, Mar. 2001, doi: 10.1016/S0169-4332(00)00912-0.

M. Kga, "technical datasheet 214049 Durazane ® 1800." [3] "329541".

*ANALISA PENGARUH VARIASI KONSENTRASI PELAPISAN POLYSILAZANEPADA PERMUKAAN SUDU
TURBIN SS 410 DALAM PENINGKATAN SIFAT MEKANIK*

- O. Gokcekaya, T. J. Webster, K. Ueda, T. Narushima, and C. Ergun, "In vitro performance of Ag-incorporated hydroxyapatite and its adhesive porous coatings deposited by electrostatic spraying," *Materials Science and Engineering: C*, vol. 77, pp. 556–564, Aug. 2017, doi: 10.1016/J.MSEC.2017.03.233.
- "Polysilazane-Binders_June-2019".
- R. Venkatraman and J. C. Bravman, "Separation of film thickness and grain boundary strengthening effects in Al thin films on Si," *J Mater Res*, vol. 7, no. 8, pp. 2040–2048, Aug. 1992, doi: 10.1557/JMR.1992.2040.
- R. Lumley, A. Morton, and I. Polmear, "Nanoengineering of metallic materials," *Nanostructure Control of Materials*, pp. 219–250, Jan. 2006, doi: 10.1533/9781845691189.219.