

## PROSES PELAPISAN *STAINLESS STEEL* MENGGUNAKAN SILIKA

\***Mohammad Nur Kholis Majid<sup>1</sup>, Sulisty<sup>2</sup>, Yusuf Umardani<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

<sup>2</sup>Dosen Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Jl. Prof. Sudharto, SH., Tembalang-Semarang 50275, Telp. +62247460059

\*E-mail: [mnurkholismajid69@gmail.com](mailto:mnurkholismajid69@gmail.com)

### Abstrak

*Stainless steel 304* merupakan baja tahan karat yang banyak digunakan di industri. Meskipun memiliki ketahanan korosi yang baik, *stainless steel 304* tetap dapat terkena korosi pada lingkungan yang korosif. Salah satu upaya meningkatkan ketahanan korosi tersebut contohnya dengan pelapisan keramik. Bahan logam berlapis keramik memiliki potensi besar dalam berbagai aplikasi karena sifatnya yang tidak biasa, seperti sifat mekanik yang baik, ketahanan korosi, maupun stabilitas termal. Salah satu jenis keramik adalah silika, yang dapat digunakan sebagai pelapis insulasi termal dan antikorosi. Silika dapat diperoleh dari ekstraksi abu sekam padi dengan NaOH dan titrasi dengan HCl. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui metode yang dapat digunakan untuk melapiskan silika dari sekam padi pada *stainless steel 304* yang sebelumnya telah dilakukan *sandblasting* dan direndam aseton. Proses pelapisan dilakukan dengan beberapa metode menggunakan *binder* PEG dan kuning telur yang kemudian disinter. Metode selanjutnya digunakan pelapisan dengan *flame spraying*. Metode terakhir adalah dengan pembuatan komposit PANi-SiO<sub>2</sub> kemudian ditambahkan pada cat dan disemprotkan ke SS304. Pada pelapisan dengan *binder* PEG, lapisan gagal menempel setelah penyinteran, sedangkan pelapisan dengan *binder* kuning telur terjadi *flaking* karena suhu yang terlalu tinggi. Pelapisan menggunakan *flame spraying*, silika berhasil menempel, namun terjadi korosi. Lapisan cat/PANi-SiO<sub>2</sub> berhasil menempel dengan baik.

**Kata kunci:** pelapisan; sekam padi; silika; *stainless steel*

### Abstract

*Stainless steel 304* is a stainless steel that is widely used in industry. Despite its good corrosion resistance, 304 stainless steel is still subject to corrosion in corrosive environments. One way to increase corrosion resistance is with ceramic coating. Ceramic-coated metal materials have great potential in various applications because of their unusual properties, such as good mechanical properties, corrosion resistance, and thermal stability. Silica ceramics can be used as thermal insulation and anticorrosive coatings. Silica can be obtained from rice husk ash extraction with NaOH and titration with HCl. The aim of this research is to find out the method that can be used to layer silica from rice husk on stainless steel 304 which has previously been sandblasted. The coating process was carried out by several methods using PEG binder and egg yolk which were then sintered. The next method is coating with flame spraying. The final method is to make a PANi-SiO<sub>2</sub> composite then add paint and spray it on to SS304. In coating with PEG binder, the coating failed to stick after sintering, whereas in coating with egg yolk binder flaking occurred due to too high a temperature. Coating using flame spraying, silica managed to be deposited, but corrosion occurs. The paint/PANi-SiO<sub>2</sub> coating managed to stick well.

**Keywords:** coating; rice husk; silica; *stainless steel*

### 1. Pendahuluan

*Stainless steel* tipe 304 adalah baja tahan karat tipe austenitik yang merupakan paduan besi, 18% Cr, 8,8% Ni dan logam lain dalam jumlah kecil. *Stainless steel* tipe 304 sering digunakan sebagai bahan konstruksi utama dalam beberapa industri, antara lain: industri nuklir, petroleum, energi, obat-obatan, industri kimia dan elektrokimia [1]. Meskipun SS 304 memiliki ketahanan korosi yang baik, namun masih dapat terkorosi pada lingkungan korosif tinggi seperti pada lingkungan asam atau garam [2], lingkungan industri yang menghasilkan polutan sulfur dioksida, *stainless steel* yang ditanam di tanah [3], atau *stainless steel* yang digunakan pada suhu tinggi [4]. Untuk meningkatkan ketahanan korosi *stainless steel* pada kondisi tersebut, salah satu metode yang dapat dilakukan adalah melapisi *stainless steel* menggunakan material keramik silika [5, 6]. Silika dapat diperoleh dari sekam padi, sehingga dapat mengurangi limbah lingkungan [7, 8].

Berbagai penelitian telah dilakukan untuk melapiskan material keramik pada logam. Metode pelapisan dapat berupa pelapisan *sintering* [5, 8, 9], dimana melalui pemanasan, keramik dapat berdifusi dengan logam dan menghasilkan lapisan keramik yang padat. Metode lain yaitu dengan *flame spray*, yang memanfaatkan panas pembakaran gas oksi-

asetilin untuk memanaskan serbuk mendekati atau sedikit diatas titik leleh, yang kemudian disemprotkan pada substrat hingga terbentuk lapisan keramik [11]. Penelitian lain dilakukan dengan menambahkan PANi-SiO<sub>2</sub> pada cat, kemudian dilapiskan pada baja. Metode ini efektif digunakan untuk menghambat laju korosi [6]. Perlakuan permukaan substrat dapat memengaruhi kualitas sambungan lapisan. *Sandblasting* biasanya digunakan untuk membersihkan substrat dan memberikan kekasaran tertentu [12]. Berdasarkan hal tersebut, diperlukan perbandingan metode yang paling mudah untuk melapiskan silika pada *stainless steel*, serta pengaruh *sandblasting* terhadap kelekatan lapisan pada *stainless steel*.

## 2. Bahan dan Metode Penelitian

Bahan silika untuk pelapisan disintesis dari sekam padi, sedangkan substrat yang digunakan adalah *stainless steel* austenite tipe 304 yang dijual dipasaran.

### 2.1 Sintesis Silika dari Sekam Padi

Penelitian dimulai dengan sintesis serbuk silika dari sekam padi yang diambil dari penggilingan padi di daerah Semarang. Sekam padi dicuci dan dikeringkan, lalu dibakar pada suhu 700°C selama 4 jam menggunakan furnace listrik sehingga didapat abu sekam padi. Sebanyak 10 gram abu sekam padi diaduk dengan 100 ml NaOH 2M selama 2 jam pada suhu 90°C, kemudian disaring untuk mendapatkan larutan natrium silikat. Larutan kemudian dititrasi dengan HCl 2M hingga pH 7, kemudian didiamkan 24 jam sehingga membentuk gel. Gel silika yang mengendap disaring dan dibilas dengan akuades, lalu dikeringkan menggunakan oven.

### 2.2 Proses *Sandblasting*

*Stainless steel* 304 dipotong menggunakan gerinda dengan ukuran yang sudah ditetapkan untuk digunakan sebagai substrat. Plat dibersihkan dengan proses *sandblasting* menggunakan aluminium oxide 60 mesh. Tekanan yang digunakan sebesar 4 bar, dengan jarak penyemprotan 10 cm. Substrat direndam aseton selama 15 menit untuk membersihkan kotoran, lalu dikeringkan. Substrat yang sudah *sandblasting* dan substrat tanpa *sandblasting* kemudian diukur kekasarannya menggunakan alat pengukur kekasaran Mitutoyo SJ-210.

### 2.3 Proses Pelapisan Silika

Proses pelapisan silika dilakukan dengan 4 metode, yaitu pelapisan *sintering* dengan *binder* PEG, pelapisan *sintering* dengan *binder* kuning telur, pelapisan menggunakan *flame spray*, dan pelapisan menggunakan cat/PANi-SiO<sub>2</sub>. Metode pertama adalah pelapisan *sintering* menggunakan *binder* PEG. Sebanyak 10 gram Silika, 4 gram PEG, 0,4 gram minyak ikan, dan 85,6 gram ethanol diaduk selama 1 jam, kemudian disemprotkan ke substrat. Lapisan yang sudah kering lalu disinter selama 2 jam pada suhu 800°C dengan heating rate 5°C/menit.

Sebanyak 5 gram kuning telur dan 2 gram akuades diaduk untuk metode pelapisan *sintering* dengan *binder* kuning telur. Kuning telur encer dilapiskan ke substrat menggunakan kuas, lalu ditaburi serbuk silika dan diratakan. Spesimen dikeringkan dalam suhu ruang. Lapisan yang sudah kering disinter pada suhu 1000°C dengan heating rate dan cooling rate 2°C/menit.

Untuk spesimen pelapisan *flame spray*, gas yang digunakan adalah oksigen-asetilin. Alat *flame spray* yang digunakan dioperasikan secara manual. Substrat dipanaskan kemudian disemprotkan bubuk silika. Jarak yang digunakan antara nozzle dan substrat adalah 10 cm.

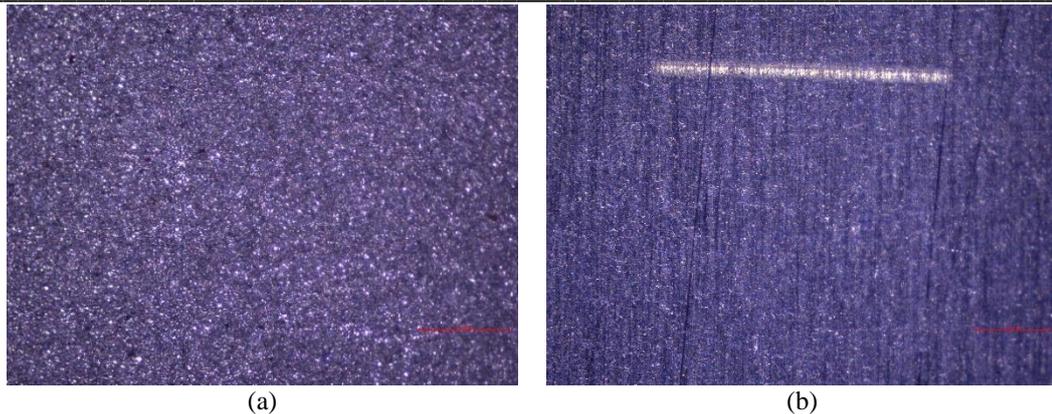
Pada pelapisan cat/PANi-SiO<sub>2</sub>, sintesis PANi diawali dengan pembuatan Larutan A: Anilin dengan HCl 1 M, dan larutan B: ammonium persulfate dengan akuades. Kedua larutan didiamkan selama 1 jam sambil didinginkan. Larutan A dan Larutan B dicampur dan diaduk, kemudian disimpan pada suhu 0°C dan didiamkan hingga anilin terpolimerisasi sempurna menghasilkan endapan PANi berwarna hijau gelap. Endapan PANi disaring dan dicuci menggunakan HCl 0,2 M serta aseton untuk membersihkan monomer yang tidak bereaksi dan juga oksidan, lalu dikeringkan pada suhu 60°C selama 20 jam. Untuk membuat komposit PANi-SiO<sub>2</sub>, digunakan perbandingan serbuk silika dan PANi sebesar 3:7. Silika dilarutkan dalam 10 ml n-butanol dan diaduk selama 2 jam. Setelah itu, ditambahkan serbuk PANi dan dilanjutkan pengadukan selama 2 jam. Serbuk PANi-SiO<sub>2</sub> dikeringkan pada suhu 60 °C selama 24 jam. Cat alkyd, *thinner*, dan serbuk PANi-SiO<sub>2</sub> dicampur dan diaduk. Cat disemprotkan ke permukaan substrat dan dikeringkan pada suhu ruang.

## 3. Hasil dan Pembahasan

Dari hasil pengujian kekasaran, terdapat perbedaan kekasaran antara spesimen tanpa *sandblasting* dengan spesimen hasil *sandblasting*. Dari keempat metode pelapisan, morfologi permukaan lapisan dan kelekatan lapisan berbeda.

### 3.1 Hasil Uji Kekasaran *Sandblasting*

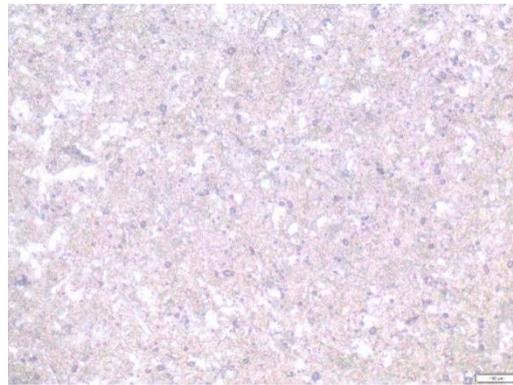
Substrat hasil *sandblasting* (A) dan substrat tanpa *sandblasting* (TP) diamati permukaannya menggunakan mikroskop. Gambar 1 menunjukkan perbandingan morfologi permukaan substrat *sandblasting* dan substrat tanpa *sandblasting*. Pada permukaan SS304 yang telah dilakukan *sandblasting* terbentuk kawah-kawah hasil tumbukan dengan partikel aluminium oxide. Hal ini berbeda dengan morfologi permukaan *stainless steel* tanpa *sandblasting* yang lebih halus.



**Gambar 1.** Perbandingan morfologi permukaan spesimen (a) *sandblasting* (b) tanpa *sandblasting*

### 3.2 Hasil Pelapisan

Pada metode pelapisan *sintering* dengan *binder* PEG, lapisan silika gagal menempel pada permukaan substrat dengan baik. Terjadi retakan pada lapisan silika setelah proses *sintering*. Morfologi permukaan lapisan dengan *binder* PEG dapat dilihat pada Gambar 2. Pada suhu 800°C, silika tidak mengalami pepadatan antar partikel silika, dan tidak terjadi difusi silika dengan logam. Silika kemudian tidak dapat menempel pada permukaan logam.



**Gambar 2.** Morfologi permukaan hasil pelapisan dengan *binder* PEG

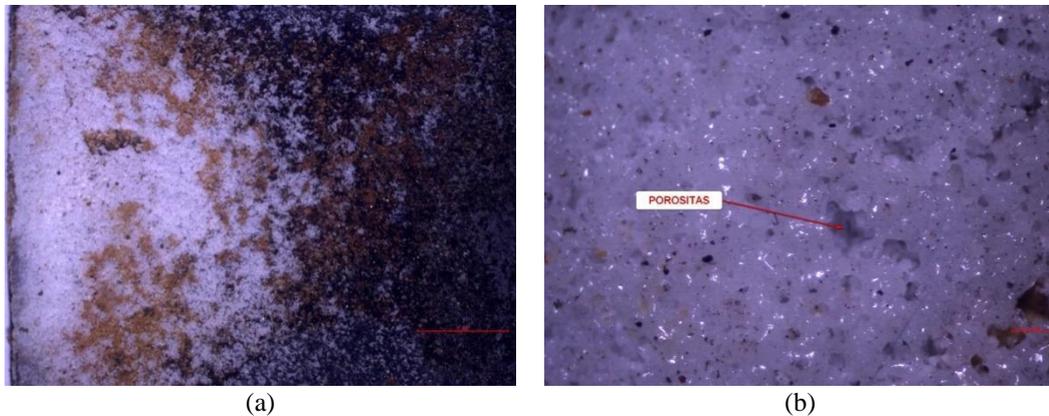
Gagal menempelnya lapisan silika dengan *binder* PEG ini sama dengan penelitian Xiao dimana lapisan lapisan keramik SiO<sub>2</sub> pada suhu *sintering* 800°C dalam atmosfer yang mengandung oksigen tidak memiliki area padat, seperti mikropori dan retakan (13). Hal ini dapat terjadi karena beberapa sebab. Pertama, pori-pori yang terakumulasi yang dibentuk oleh akumulasi partikel SiO<sub>2</sub> kasar selama proses penyemprotan tidak diisi dengan partikel halus, sehingga menghasilkan pembentukan mikropori. Kedua, dalam proses *sintering*, dengan penguapan air dan difusi permukaan yang terjadi setelah reaksi mineralisasi, *sintering* lapisan menghasilkan mikropori dan retakan yang mengencang. Ketiga, retak tegangan yang disebabkan oleh pemuaihan dan penyusutan yang tidak merata yang disebabkan oleh perbedaan besar dalam sifat termal antara pelapis dan bahan dasar juga merupakan alasan penting untuk struktur pelapis yang tidak padat. Retakan lapisan dapat menghilangkan adhesi lapisan ke substrat selama pemanasan.

Pada pelapisan *sintering* dengan *binder* PEG, lapisan silika gagal menempel karena terjadi *flaking* seperti ditunjukkan Gambar 3. *Flaking* disebabkan karena pemanasan substrat pada suhu tinggi diatas 950°C. Pada suhu tersebut, lapisan kromium kromium tidak lagi stabil, mulai terurai dan kehilangan sifat pelindungnya. Selama pemanasan, lapisan dapat mengalami tegangan tekan yang diinduksi oleh proses pertumbuhan lapisan selama oksidasi isothermal dan oleh ketidaksesuaian ekspansi termal. Tegangan ini seringkali cukup untuk menyebabkan keretakan dan pengelupasan lapisan oksida pelindung. Ketika retakan muncul di lapisan oksida atau serpihan oksida terbentuk, permukaan logam terbuka dan oksidasi dipercepat secara lokal. Kromium oksida terbentuk kembali. Jika proses ini berulang, kandungan kromium di lapisan permukaan paduan berkurang dan baja kehilangan ketahanan suhu tinggi.



**Gambar 3.** Morfologi permukaan hasil pelapisan dengan *binder* kuning telur

Lapisan silika hasil metode *flame spray* dapat menempel ke permukaan substrat, namun tidak merata karena alat yang dioperasikan masih secara manual. Pada spesimen terlihat adanya korosi akibat suhu pemanasan yang sangat tinggi seperti Gambar 4. Pemanasan dengan suhu tinggi dapat mengakibatkan korosi oksidasi karena lapisan pasif *stainless steel* kehilangan sifat pelindungnya.

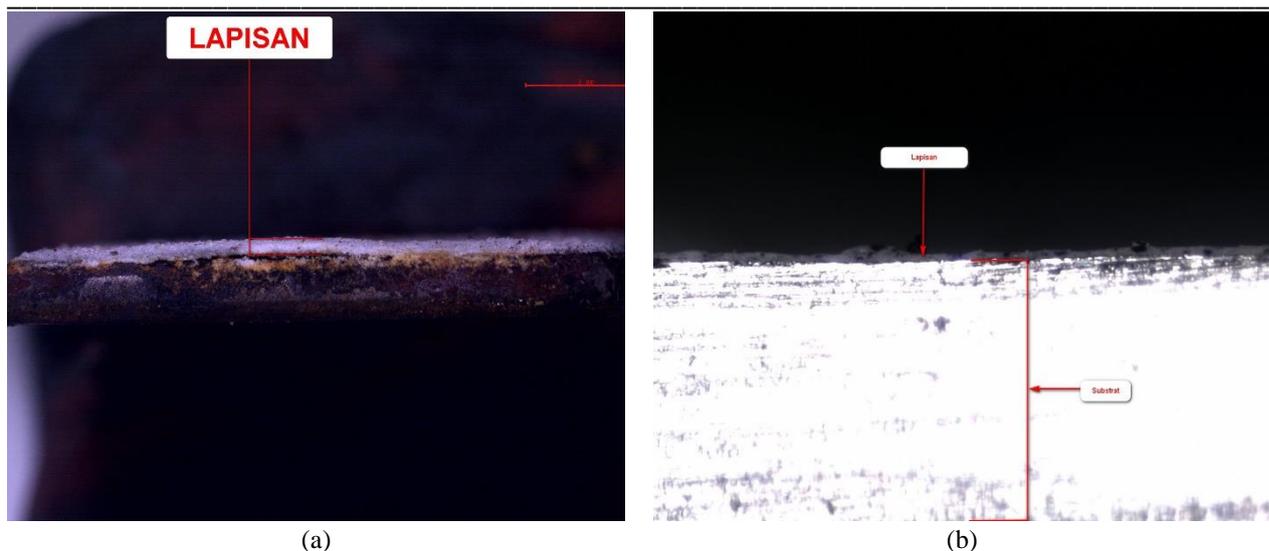


**Gambar 4.** Morfologi lapisan silika hasil *flame spray* perbesaran (a) 6,7x dan (b) 40x

Dari Gambar 4b, terlihat adanya porositas pada lapisan. Hal-hal yang dapat menyebabkan porositas yaitu distribusi pelelehan butiran yang tidak merata sehingga menyebabkan terbentuknya oksida dan porositas, koefisien ekspansi termal material substrat dan pelapis yang berbeda yang memicu pemuaian antara dua material menjadi berbeda, dan kecepatan spray yang terlalu tinggi menyebabkan terjebaknya udara pada lapisan yang membeku.

Lapisan silika yang dapat menempel paling baik adalah lapisan cat/PANi-SiO<sub>2</sub>. Cat yang digunakan dalam penelitian ini adalah alkyd resin yang merupakan jenis polimer. Ada tiga mekanisme adhesi dari polimer dan metal yaitu *mechanical interlocking*, adsorpsi, dan pengikatan kimia (*chemical bonding*). *Mechanical interlocking* terjadi karena penetrasi polimer cair ke dalam pori-pori pada atau di dalam substrat logam untuk membentuk struktur seperti pengait, dan dengan demikian secara mekanis mengunci substrat dengan polimer. Morfologi permukaan dan kekasaran merupakan dua faktor penting untuk menentukan kekuatan adhesi, yang dapat dikontrol dengan proses perlakuan permukaan yang sesuai. Dalam mekanisme adsorpsi, adhesi berasal dari gaya ikatan sekunder seperti gaya Van der Waals dan ikatan hidrogen. Ikatan kimia mencirikan kasus bahwa adhesi polimer/substrat terjadi karena pembentukan ikatan kimia, terutama ikatan kovalen. Ikatan kovalen ditandai dengan energi tinggi antara atom. Adhesi dapat sangat ditingkatkan jika polimer membentuk ikatan kovalen dengan substrat karena energi ikatan yang lebih tinggi dari energi ikatan hidrogen.

Dari keempat metode pelapisan yang dilakukan, metode yang dapat menempelkan silika pada substrat adalah metode *flame spray* dan metode cat/PANi-SiO<sub>2</sub>. Dari kedua metode pelapisan tersebut, dapat dilihat melalui tampilan penampang melintang di Gambar 5.



Gambar 5. Penampang melintang hasil pelapisan (a) *flame spray* dan (b) cat/PANi-SiO<sub>2</sub>

Dari Gambar 6, dapat dilihat adanya lapisan yang melekat pada substrat. Kelekatannya disebabkan adanya ikatan yang disebut *mechanical interlocking*, serta proses difusi yang terjadi ketika suhu substrat cukup tinggi. Kelekatannya pada metode cat/PANi-SiO<sub>2</sub> dikarenakan ikatan polimer-metal: *mechanical interlocking*, adsorpsi, dan ikatan kimia.

#### 4. Kesimpulan

Hasil pelapisan dengan 4 metode yang digunakan menunjukkan bahwa pelapisan metode *flame spray* dan cat/PANi-SiO<sub>2</sub> merupakan metode yang dapat menempel pada substrat SS304, dibandingkan metode pelapisan *sintering* yang tidak dapat menempel. Pada metode pelapisan *sintering* dengan *binder* PEG, lapisan tidak menempel karena adanya retakan dan tidak terjadinya difusi silika dengan Fe di substrat. Spesimen hasil pelapisan *sintering* dengan *binder* kuning telur terjadi *flaking* akibat suhu *sintering* yang terlalu tinggi yang menyebabkan pengelupasan lapisan pasif *stainless steel*. Pada pelapisan *flame spray*, lapisan kurang merata dikarenakan pengoperasian yang masih manual, serta terjadinya porositas pada lapisan.

#### 4. Daftar Pustaka

- [1] Rizki TI. Pengaruh Suhu Terhadap Kualitas Coating ( Pelapisan ) *Stainless steel* Tipe 304 Dengan Kitosan Secara Elektroforesis. *Sains dan Seni ITS*. 2015;4(1):25–8.
- [2] Saefuloh I, Kanani N, Ramadhan FG, Rukmayadi Y, Yusuf Y, Abdullah S, et al. The Study Of Corrosion Behavior And Hardness Of AISI *Stainless steel* 304 In Concentration Of Chloride Acid Solution And Temperature Variations. In: *Journal of Physics: Conference Series*. IOP Publishing; 2020. hal. 52058.
- [3] Ul-Hamid A, Saricimen H, Quddus A, Mohammed AI, Al-Hems LM. Corrosion Study Of SS304 And SS316 Alloys In Atmospheric, Underground And Seawater Splash Zone In The Arabian Gulf. *Corros Eng Sci Technol*. 2017;52(2):134–40.
- [4] Sumanto, El Maghfiroh R. Efek Temperatur Terhadap Laju Korosi. *J Flywheel*. 2019;10:26–32.
- [5] Atik M, de Lima Neto P, Avaca LA, Aegerter MA, Zarzycki J. Protection of 316L *stainless steel* against corrosion by SiO<sub>2</sub> coatings. *J Mater Sci Lett*. 1994;13(15):1081–5.
- [6] Zuhri AA, Januar A. Sintesis Dan Karakterisasi Nanokomposit Pani/SiO<sub>2</sub> Sebagai Pelapis Tahan Korosi. *J Inov Fis Indones*. 2013;2(3):1–6.
- [7] Azat S, Korobeinyk A V., Moustakas K, Inglezakis VJ. Sustainable production of pure silica from rice husk waste in Kazakhstan. *J Clean Prod*. 2019;217:352–9.
- [8] Chandra Maylina A, Dirgarini Julia Nurlianti Subagyono R, Jurusan Kimia D, Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam F, Mulawarman Jalan Barong Tongkok U, Unmul Gunung Kelua No K, et al. Sintesis Silika Mesopori Tersulfonasi Dari Abu Sekam Padi (*Oryza sativa* L.) Synthesis Of Sulphonated Mesoporous Silica From Rice Husk Ash (*Oryza sativa* L.). 2018;03(2):73–8.
- [9] Tanaike O, Noguchi Y, Hayashi S, Sugai I, Niwa E, Iijima T, et al. Study On The Cross-Sectional Microstructure Of A Thin Ceramic Coating On *Stainless steel* Surface Fabricated By The Application And Calcination Of An Aqueous Clay Mineral Paste. *Appl Clay Sci* [Internet]. 2020;193(January):105665. Tersedia pada: <https://doi.org/10.1016/j.clay.2020.105665>
- [10] Fadli A, Akbar F, Prabowo A, Hidayah PH. Coating Hydroksiapatite On *Stainless steel* 316 L By Using Sago Starch As *Binder* With Dip-Coating Method. *IOP Conf Ser Mater Sci Eng*. 2018;345(1).

- 
- [11] Vuoristo P. Thermal Spray Coating Processes [Internet]. Vol. 4, Comprehensive Materials Processing. *Elsevier*; 2014. 229–276 hal. Tersedia pada: <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-08-096532-1.00407-6>
- [12] Sulistyono E, Setyarini PH. Pengaruh Waktu Dan Sudut Penyemprotan Pada Proses Sand Blasting Terhadap Laju Korosi Hasil Pengecatan Baja AISI 430. *J Rekayasa Mesin*. 2011;2(3):205–8.
- [13] Xiao K, Xue W, Li Z, Wang J, Li X, Dong C, et al. Effect Of *Sintering* Temperature On The Microstructure And Performance Of A Ceramic Coating Obtained By The Slurry Method. *Ceram Int* [Internet]. 2018;44(10):11180–6. Tersedia pada: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ceramint.2018.03.147>