

PENGARUH KOMPOSISI PANi/SiO₂ SEBAGAI BAHAN PELAPIS ANTI KOROSI PADA BAJA TIPE SS 304

¹⁾Dhiny Erlindasari, ²⁾Diah Hari Kusumawati, ³⁾Evi Suaebah

¹⁾ Program Studi Fisika, FMIPA, Universitas Negeri Surabaya, email: dhinyerlindasari.21043@mhs.unesa.ac.id

²⁾ Program Studi Fisika, FMIPA, Universitas Negeri Surabaya, email: diahkusumawati@unesa.ac.id

³⁾ Program Studi Fisika, FMIPA, Universitas Negeri Surabaya, email: evisuaebah@unesa.ac.id

Abstrak

PANi merupakan polimer konduktif yang mudah disintesis, memiliki konduktivitas tinggi, dan mampu menghambat pergerakan ion-ion elektrolit yang bersifat merusak. SiO₂ merupakan bahan keramik anorganik dengan stabilitas termal tinggi dan isolator listrik yang baik. Paduan kedua material ini, membentuk PANi/SiO₂ yang terbukti efektif dalam meningkatkan ketahanan korosi, terutama pada permukaan logam PANi disintesis melalui reaksi polimerisasi oksidasi, sedangkan pembuatan PANi/SiO₂ menggunakan metode pencampuran basah (*wet mixing*). PANi/SiO₂ dilapiskan pada substrat baja SS 304 menggunakan metode *dip coating*. Pelapisan dilakukan dengan variasi konsentrasi PANi/SiO₂ yang telah ditentukan sebelumnya, dengan tujuan agar mendapatkan komposisi optimal dan ketahanan korosi yang maksimal. PANi/SiO₂ dikarakterisasi menggunakan FTIR, XRD, dan SEM. Laju korosi diperoleh dengan uji korosi menggunakan potensiostat. Hasil uji korosi menunjukkan bahwa konsentrasi 5,5% memberikan penurunan laju korosi terbaik dibandingkan variasi konsentrasi lainnya, yaitu sebesar $0,63 \times 10^{-3}$ mm/year. Konsentrasi ini mampu membentuk lapisan pelindung yang optimal dengan distribusi partikel SiO₂ yang merata serta jaringan konduktif PANi yang efektif menghambat penetrasi ion-ion agresif.

Kata Kunci : PANi/SiO₂, korosi, baja SS 304, laju korosi

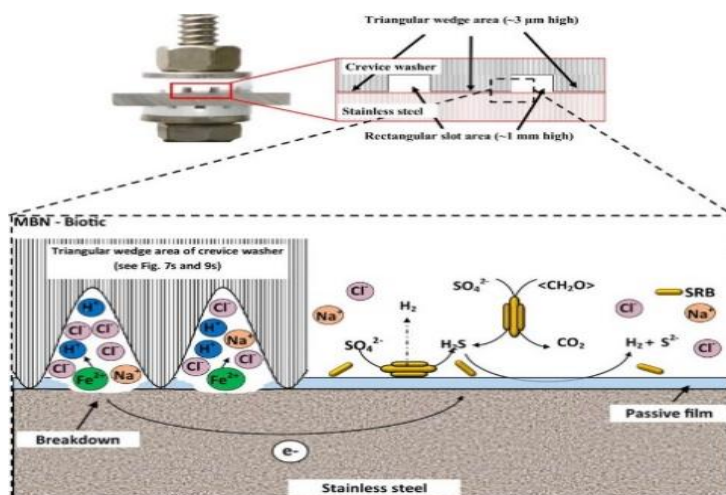
Abstract

PANi is a conductive polymer that is easy to synthesize, possesses high electrical conductivity, and is capable of inhibiting the movement of destructive electrolyte ions. SiO₂ is an inorganic ceramic material with high thermal stability and excellent electrical insulation properties. The combination of these two materials forms a PANi/SiO₂ composite, which has been proven effective in enhancing corrosion resistance, particularly on metal surfaces. PANi is synthesized through oxidative polymerization, while the PANi/SiO₂ composite is prepared using the wet mixing method. The composite is applied to SS 304 stainless steel substrates using the dip coating technique. The coating process was carried out with various predetermined concentrations of PANi/SiO₂, aiming to obtain the optimal composition and maximum corrosion resistance. The PANi/SiO₂ composite was characterized using FTIR, XRD, and SEM. Corrosion rate was measured through electrochemical corrosion testing using a potentiostat. The results showed that the 5,5% concentration yielded the best reduction in corrosion rate compared to other variations, with a value of $0,63 \times 10^{-3}$ mm/year. This concentration successfully formed an optimal protective layer, characterized by a uniform distribution of SiO₂ particles and a conductive PANi network that effectively inhibits the penetration of aggressive ions.

Keywords: PANi/SiO₂, corrosion, SS 304, corrosion rate

I. PENDAHULUAN

Korosi adalah permasalahan utama dalam berbagai industri yang memanfaatkan material logam. Korosi terjadi akibat reaksi kimia atau elektrokimia antara bahan logam dengan lingkungannya, sehingga menyebabkan kerusakan material dan penurunan kekuatan strukturnya (Sofian *et al.*, 2022). Salah satu logam yang umum digunakan dalam industri maritim adalah baja SS 304 (Catur *et al.*, 2023). Baja ini banyak diterapkan pada komponen kapal, seperti baling-baling kapal, karena kandungan kromiumnya mampu membentuk lapisan pasif yang meningkatkan ketahanan terhadap korosi (Chandra *et al.*, 2021). Namun, di lingkungan laut yang mengandung ion klorida tinggi, baja ini tetap rentan terjadi korosi, terutama jenis korosi sumuran (*pitting corrosion*) (Novita *et al.*, 2018). Jenis korosi ini dapat mengurangi efisiensi serta memperpendek umur pakai baling-baling kapal, sehingga diperlukan perlindungan tambahan berupa pelapis anti korosi. Berikut merupakan proses terjadinya korosi,



Gambar 1 Proses korosi celah pada baja SS304 (Javed *et al.*, 2022)

Permukaan baja SS 304 awalnya terlindungi oleh lapisan pasif berupa kromium oksida yang terbentuk secara spontan. Namun, pada area celah yang sempit, terjadi keterbatasan difusi oksigen dan ion sulfat (SO_4^{2-}), sehingga menyebabkan terbentuknya lingkungan kimia yang berbeda dibandingkan dengan bagian luar celah (Javed *et al.*, 2022).

Proses awal korosi ditandai dengan pelarutan logam besi dari permukaan baja melalui reaksi:

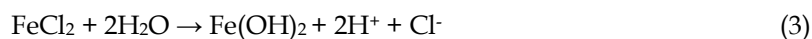


Di luar celah, bakteri pereduksi sulfat (*sulfate reducing bacteria*, SRB) mereduksi ion sulfat menjadi hidrogen sulfida (H_2S) melalui reaksi:



Reaksi (2) menyebabkan terbentuknya perbedaan potensial elektrokimia antara bagian dalam dan luar celah, yang mendorong migrasi ion klorida (Cl^-) dari lingkungan luar ke dalam celah untuk mempertahankan keseimbangan muatan.

Di dalam celah, ion Cl^- berinteraksi dengan ion Fe^{2+} membentuk senyawa FeCl_2 , yang kemudian mengalami reaksi hidrolisis sebagai berikut:



Reaksi (3) menghasilkan ion H^+ dalam jumlah besar, sehingga menurunkan pH secara signifikan di dalam celah. Peningkatan konsentrasi ion Fe^{2+} , Cl^- , dan H^+ menciptakan lingkungan yang sangat asam dan agresif, yang mempercepat kerusakan lapisan pasif dan menyebabkan korosi berlangsung secara intensif di area celah.

Bahan pelapis dari polimer konduktif yang banyak dikembangkan sebagai bahan pelapis anti korosi adalah *polianilin* (PANi) (Swati *et al.*, 2020). PANi memiliki karakteristik yang mendukung fungsi

perlindungan terhadap korosi, antara lain kemampuannya menghambat pergerakan ion-ion elektrolit perusak logam, konduktivitas listrik yang relatif tinggi, serta kemudahan dalam sintesis. Selain itu, PANi juga memiliki sifat redoks yang baik, koefisien penyerapan cahaya tampak yang tinggi, massa jenis rendah, biaya produksi yang relatif rendah, serta potensi dalam penyimpanan energi (Ajeel & Kareem, 2019). Namun, PANi memiliki beberapa kelemahan, seperti ketahanan yang rendah terhadap temperatur tinggi dan kerentanan terhadap kerusakan akibat paparan sinar ultraviolet maupun inframerah. Strategi untuk meningkatkan performa pelapis berbasis PANi adalah dengan menambahkan bahan anorganik yang memiliki sifat mekanik, listrik, magnet, dan stabilitas termal yang baik. *Silicon dioxide* (SiO₂) merupakan bahan anorganik yang efektif untuk dipadukan dengan PANi. SiO₂ memiliki sifat mekanik termal yang baik, keramik, dan isolator. Paduan PANi/SiO₂ yang terbentuk mampu meningkatkan sifat fisik pada logam, seperti sifat termal dan sifat ketahanan korosinya, sehingga meningkatkan ketahanan dan umur pakai pada material (Ummah & Munasir, 2015).

Ketahanan korosi pada baja SS 304 merupakan ukuran kemampuan material dalam menahan degradasi akibat reaksi elektrokimia dengan lingkungan korosif, yang bertujuan untuk memastikan ketahanan dan umur panjang dalam menurunkan laju korosi. Semakin rendah laju korosi maka semakin tinggi daya tahan material dan semakin tinggi laju korosinya maka semakin daya tahan material terhadap korosi (Setiawan et al., 2021). Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan potensiostat, yang menggunakan tiga sel elektroda yakni elektroda kerja (*working electrode*), elektroda pembantu (*auxiliary electrode*), dan elektroda acuan. Data yang diperoleh meliputi nilai kerapatan arus, potensial arus, hambatan, dan laju korosi, yang digambarkan dalam kurva Tafel polarisasi, dari kurva polarisasi tersebut didapatkan hubungan antara kerapatan arus terhadap potensial korosi sehingga didapatkan nilai laju korosi

II. METODE

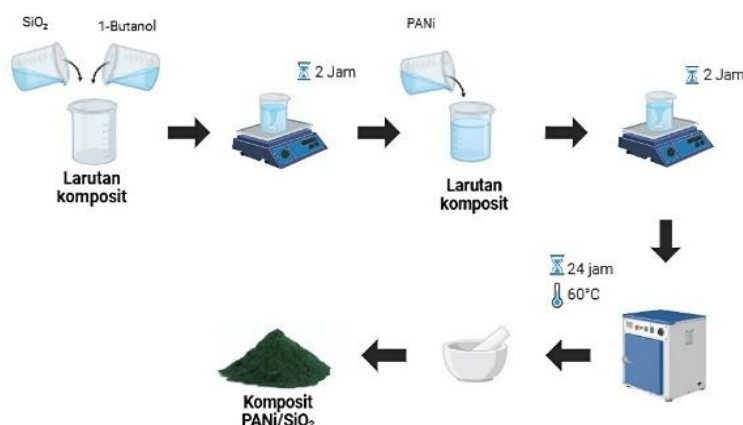
A. Rancangan Penelitian

Penelitian diawali dengan sintesis PANi, kemudian dilanjutkan dengan pembuatan PANi/SiO₂ melalui metode pencampuran basah (*wet mixing*). Pembuatan bahan pelapis pada substrat baja SS 304 menggunakan metode *dip coating*. Pengujian ketahanan korosi dilakukan pada baja SS 304 yang telah dilapisi PANi/SiO₂ dengan variasi konsentrasi tertentu. Uji ketahanan korosi dilakukan menggunakan potensiostat yang menghasilkan kurva Tafel polarisasi untuk mendapatkan nilai laju korosi.

Sintesis PANi

Pembuatan PANi diawali dengan melarutkan *anilin* sebanyak 1,82 ml ke dalam 50 ml HCl 1 M, kemudian diaduk selama 3 menit dan didiamkan selama 1 jam. Secara terpisah, 5,71 gram amonium persulfat (NH₄)₂S₂O₈ dilarutkan dalam 50 ml aquades, diaduk selama 3 menit, dan didiamkan selama 1 jam. Kedua larutan tersebut kemudian dicampurkan dan diaduk selama 3 menit, lalu didiamkan selama 24 jam pada suhu ruang. Endapan yang terbentuk disaring menggunakan kertas saring, kemudian dicuci berturut-turut dengan 100 ml HCl 0,2 M dan 100 ml aseton. Polianilin hasil sintesis dalam bentuk *emeraldine salt* (ES), yang diperoleh melalui doping dengan HCl, selanjutnya dikeringkan dalam oven pada suhu 60°C selama 20 jam (Wulandari & Putri, 2021). PANi yang dihasilkan kemudian dicampur dengan SiO₂ sebagai berikut,

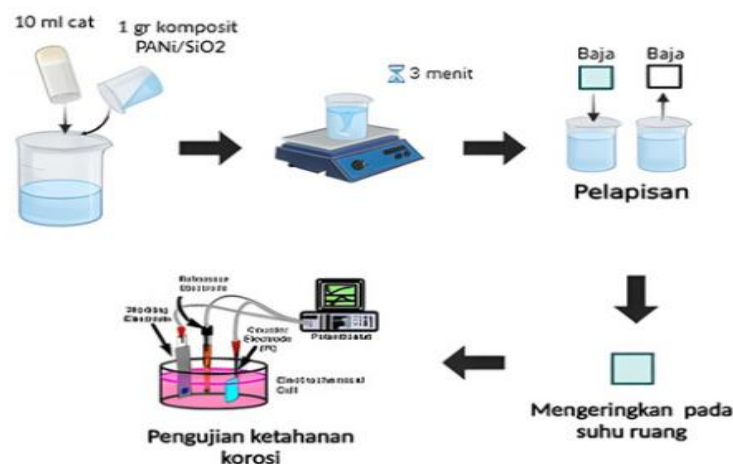
Pembuatan PANi/SiO₂



Gambar 2 Ilustrasi pembuatan PANi/SiO₂

Langkah pembuatan PANi/SiO₂ dimulai dengan memasukkan serbuk SiO₂ sesuai dengan variasi konsentrasi yang diujikan, ke dalam 10 ml larutan 1-butanol yang berfungsi sebagai pelarut (*solvent*). Larutan tersebut diaduk selama 2 jam, kemudian serbuk PANi ditambahkan ke dalam larutan SiO₂ dilakukan pengadukan kembali selama 2 jam. Material paduan PANi dan SiO₂ dikeringkan pada suhu 60°C selama 24 jam dan dihaluskan hingga diperoleh serbuk PANi/SiO₂ (Andari *et al.*, 2022). PANi/SiO₂ digunakan sebagai bahan pelapis pada baja SS 304 sebagai berikut,

Pembuatan Bahan Pelapis



Gambar 3 Ilustrasi pembuatan bahan pelapis

Serbuk PANi/SiO₂ sebanyak 1 gram ditambahkan ke dalam 10 ml cat, kemudian diaduk hingga homogen untuk menghasilkan larutan pelapis. Larutan tersebut diaplikasikan pada permukaan baja SS 304 menggunakan metode *dip coating* sebanyak tiga kali pencelupan, masing-masing 15 detik, kemudian dikeringkan pada suhu ruang. Setelah proses pengeringan selesai, sampel baja yang telah dilapisi PANi/SiO₂ diuji menggunakan metode potensiostat untuk mengetahui ketahanan korosi (Syahra & Munasir, 2015).

B. Variabel Penelitian

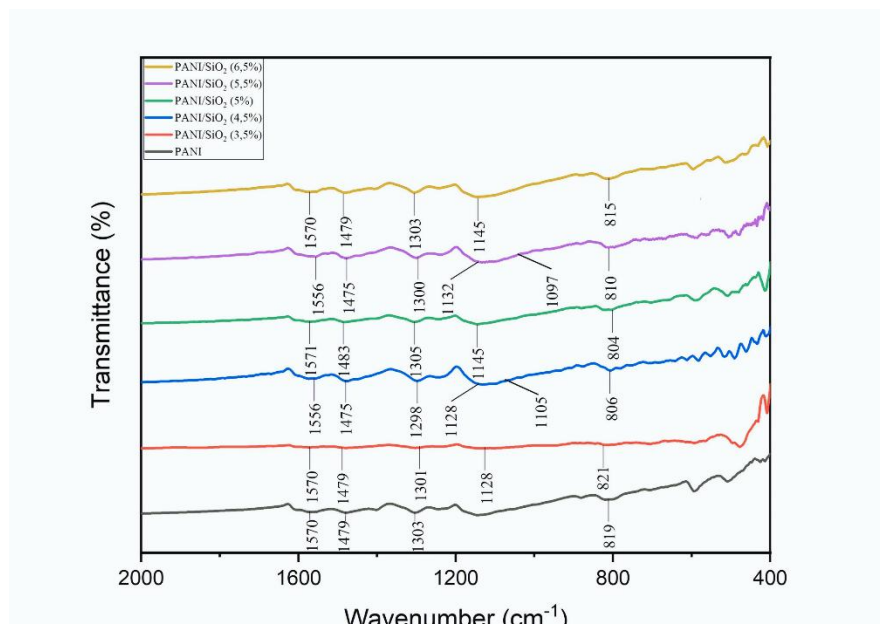
Variabel kontrol berupa jumlah total konsentrasi 100%, volume cat 10 ml, media berupa air Laut Tuban, waktu pencelupan 30 detik, jumlah pelapisan sebanyak 3 kali, dan ketebalan baja SS 304 sebesar 2 mm. variabel bebas berupa konsentrasi PANi/SiO₂ sebesar 3,5%; 4,5%; 5%; 5,5%; dan 6,5%. Variabel respon berupa karakteristik uji korosi dari baja SS 304 yang dilapisi PANi/SiO₂-Cat.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Karakterisasi FTIR

Fourier Transform Infrared (FTIR) dilakukan untuk mengidentifikasi keberadaan gugus-gugus fungsi pada senyawa PANi dan PANi/SiO₂, sekaligus mengamati kemungkinan interaksi yang terjadi antar komponen dalam material tersebut. Melalui pengujian ini, perubahan karakteristik kimia dapat diamati dengan lebih jelas. Hasil analisis FTIR untuk PANi dan PANi/SiO₂ secara lengkap ditunjukkan pada **Gambar 4**.

Spektrum hasil uji FTIR diperoleh pada rentang bilangan gelombang 2000 cm⁻¹ hingga 400 cm⁻¹, di mana sumbu x menunjukkan bilangan gelombang (cm⁻¹) dan sumbu y menampilkan persentase transmisi (%T), yang merepresentasikan jumlah cahaya inframerah yang mampu ditransmisikan melalui sampel. Penurunan nilai transmisi pada spektrum mengindikasikan adanya penyerapan cahaya oleh gugus-gugus fungsional tertentu, yang kemudian muncul sebagai puncak-puncak karakteristik pada kurva. Fenomena ini membantu mengidentifikasi keberadaan ikatan atau kelompok fungsi spesifik dalam material.



Gambar 4. Spektrum FTIR PANi dan PANi/SiO₂

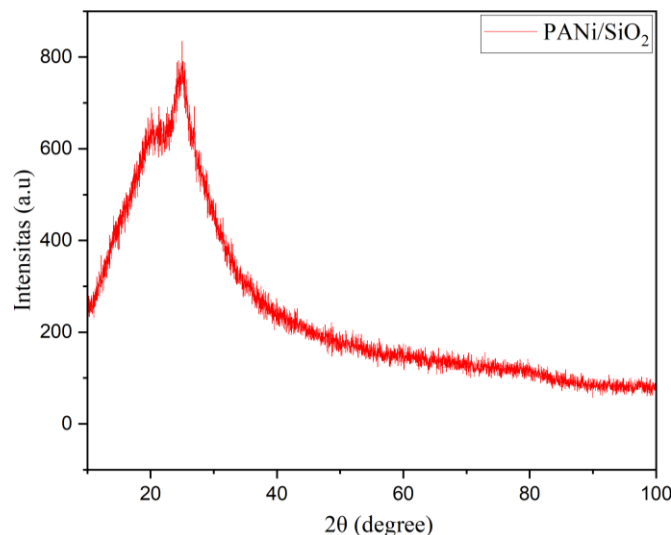
Seperti yang terlihat pada Tabel 1, spektrum FTIR PANi murni menunjukkan keberadaan gugus-gugus fungsi dari struktur anilin. Puncak pada 1479 cm⁻¹ dan 1570 cm⁻¹ mengindikasikan vibrasi regangan (*stretching*) dari gugus N-H dan vibrasi lentur (*bending*) dari ikatan C=C *aromatic*. Selain itu, puncak pada 1303 cm⁻¹ menunjukkan adanya vibrasi C-N *aromatic stretching*, sedangkan puncak di 819 cm⁻¹ menunjukkan vibrasi tekuk (*bending*) dari ikatan C-H. Setelah penambahan SiO₂ dengan variasi konsentrasi 3,5% hingga 6,5%, muncul puncak baru di rentang 1128-1145 cm⁻¹ yang menunjukkan keberadaan gugus fungsi Si-O-Si *asymmetric stretching* dan C-H *stretching*. Kemunculan puncak-puncak ini mengindikasikan bahwa gugus silanon (Si-OH) dari silika telah berhasil berikatan dengan gugus aktif pada struktur PANi, khususnya gugus amina (-NH) dan cincin aromatik (Cho et al., 2018). Secara keseluruhan, hasil spektrum FTIR ini menunjukkan bahwa penambahan partikel SiO₂ tidak menyebabkan perubahan signifikan pada struktur utama matriks PANi. Hal ini mengindikasikan interaksi yang terjadi bersifat kompatibel dan tidak merusak struktur dasar polimer (Munasir et al., 2016).

Tabel 1 Hasil Karakterisasi *Fourier Transform Infrared* (FTIR)

Gugus Fungsi	Wavenumber (cm ⁻¹)							Referensi
	Eksperimen						Referensi	
	PANi	3,5%	4,5%	5%	5,5%	6,5%		
C-H <i>bending</i>	819	821	806	804	810	815	900-600	(Pratama et al., 2021)
C-H <i>stretch</i>	-	1128	1128	1145	1132	1145	1225-1110	(Dyana & Triwikantoro, 2017)
Si-O-Si <i>asymmetric strecthing</i>	-	1128	1105	1145	1097	1145	1130-1000	(Samiee et al., 2019)
C-N <i>aromatic stretching</i>	1303	1301	1298	1305	1300	1303	1360-1250	(Pratama et al., 2021)
N-H <i>stretch</i>	1479	1479	1475	1483	1475	1479	1500-1400	(Nie et al., 2018)
C=C <i>aromatic bending</i>	1570	1570	1556	1571	1556	1570	1600-1400	(Munasir et al., 2018)

B. Hasil Karakterisasi XRD

X-Ray Diffraction (XRD) dilakukan untuk mengetahui sifat kristalinitas material, mengidentifikasi fase kristalin yang terbentuk, serta memastikan keberhasilan pencampuran antara *polianilin* (PANi) dengan *silicon dioxide* (SiO₂). Hasil pengujian PANi/SiO₂ ditunjukkan pada **Gambar 5**

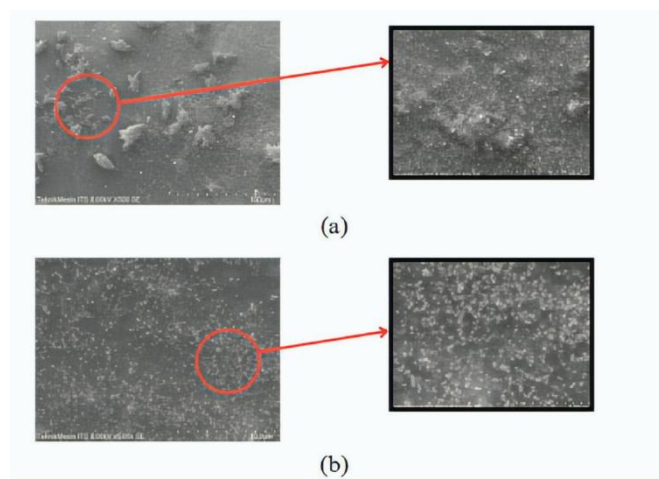


Gambar 5. Spektrum XRD PANi dan PANi/SiO₂

Spektrum XRD PANi/SiO₂ menunjukkan puncak tajam pada $2\theta = 25,06^\circ$ sesuai dengan penelitian Raj dan Nayak (2021), di mana puncak tajam muncul pada $2\theta = 25^\circ$. Perbedaan kecil posisi puncak ini dapat disebabkan oleh variasi ukuran kristal, regangan internal, kondisi sintesis, serta interaksi antar komponen dalam material. Setelah puncak utama tersebut, intensitas pola difraksi menurun secara bertahap seiring dengan meningkatnya sudut 2θ , tanpa munculnya puncak-puncak tajam lain pada sudut yang lebih tinggi. Hal ini mengindikasikan bahwa sebagian besar struktur material PANi/SiO₂ menunjukkan karakteristik amorf yang ditandai oleh keberadaan satu puncak kristal dominan pada latar belakang amorf yang cukup kuat (Das et al., 2015).

C. Hasil Karakteristik SEM

Scanning Electron Microscope (SEM) dilakukan untuk mengamati morfologi permukaan serta mengetahui distribusi partikel PANi/SiO₂ dalam lapisan pelindung yang diaplikasikan (Natalia et al., 2023). Hasil pengujian SEM PANi/SiO₂ ditunjukkan pada **Gambar 6**



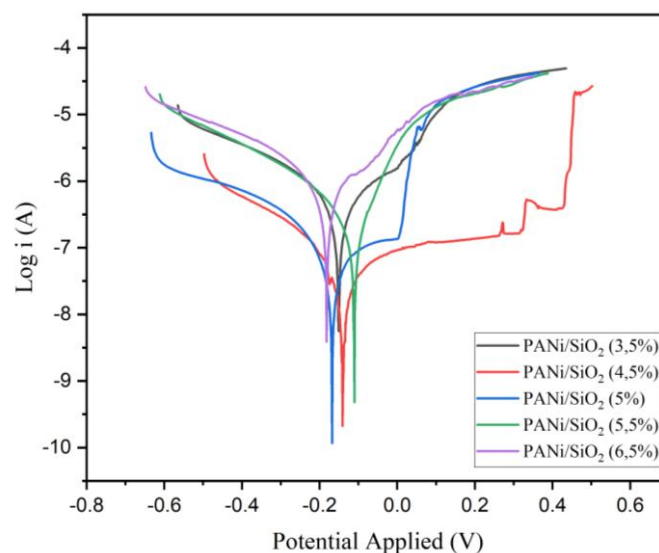
Gambar 6. Morfologi permukaan Baja SS 304 yang telah dilapisi bahan pelapis (a) distribusi partikel yang tidak merata (b) distribusi partikel yang merata

Permukaan baja SS 304 yang telah dilapisi PANi/SiO₂ menunjukkan perbedaan morfologi pada area yang berbeda. **Gambar 6 a)** aglomerasi partikel yang cukup signifikan. Partikel silika yang digunakan

berukuran nanometer, namun adanya gaya tarik menarik antarpartikel dan ketidaksempurnaan dalam pencampuran menyebabkan partikel-partikel tersebut membentuk aglomerasi, aglomerasi tersebut tersebar tidak merata. Kondisi ini menyebabkan permukaan menjadi kasar dan tidak homogen, serta membentuk celah mikro dan kekosongan yang tidak tertutup sempurna oleh lapisan pelindung. Celah tersebut berpotensi menjadi titik awal terjadinya korosi sumuran (*pitting corrosion*), yaitu korosi lokal yang berkembang perlahan dan menembus struktur logam hingga menimbulkan kerusakan permanen (Meer et al., 2016). **Gambar 6 b)** distribusi partikel yang lebih merata dan halus. Persebaran partikel PANi/SiO₂ tampak lebih homogen tanpa tanda-tanda aglomerasi. Hal ini menunjukkan bahwa proses pelapisan pada area tersebut berlangsung lebih baik, menghasilkan lapisan pelindung yang rapat dan efektif dalam menghambat penetrasi ion-ion agresif seperti klorida.

D. Hasil Karakteristik Uji Korosi

Uji korosi dilakukan untuk mengetahui tingkat ketahanan material terhadap degradasi yang disebabkan oleh reaksi elektrokimia antara logam dengan lingkungannya (Novita et al., 2018). Hasil pengujian korosi ditunjukkan pada **Gambar 7**



Gambar 7 Tafel Plot Polarisasi Hasil Pengujian Laju Korosi

Kurva tafel untuk variasi 5,5% menunjukkan kinerja inhibisi korosi yang paling baik dibandingkan dengan sampel lainnya. Kemiringan cabang anodik dan katodik pada komposisi ini tampak lebih simetris dan tajam, yang mengindikasikan penghambatan yang efektif pada daerah oksidasi maupun reduksi. Selain itu, area anoda dan katoda yang lebih besar menunjukkan bahwa material bersifat pasif terhadap korosi, sehingga mampu menghambat proses korosi secara optimal (Islami et al., 2021). Daerah anodik berhubungan dengan proses korosi, sedangkan daerah katodik berhubungan dengan penerimaan elektron, seperti reduksi ion H⁺ dalam larutan asam. Efektivitas inhibisi pada kedua sisi ini mengindikasikan bahwa pelapisan PANi/SiO₂ mampu memberikan perlindungan korosi yang menyeluruh. Sementara itu, pada variasi komposisi lainnya, bentuk kurva cenderung kurang simetris dengan posisi potensial yang lebih tinggi. Hal ini menunjukkan bahwa komposisi 5,5% memiliki arus korosi paling rendah dan kestabilan lapisan pelindung yang paling baik di antara semua sampel.

Secara kuantitatif, laju korosi baja SS 304 yang telah dilapisi PANi/SiO₂ dihitung berdasarkan arus korosi yang diperoleh dari kurva Tafel, menggunakan persamaan laju korosi berikut:

$$CR \text{ (mmpy)} = K \frac{I_{corr} Ew}{Ap} \quad (4)$$

Keterangan:

K = Konstanta (3272/(amp.cm.yr))

E_w = Berat ekivalen (gram)
 I_{corr} = Kerapatan arus korosi (amp)
 A = Luas area (cm²)
 ρ = Densitas logam terkorosi (gram/cm³)

Nilai laju korosi dari setiap sampel dengan variasi PANi/SiO₂ disajikan dalam Tabel sebagai berikut:

Tabel 2 Data Hasil Uji Korosi PANi/SiO₂-Cat

Lapisan Pelindung Baja	CR (mm/year)
PANi/SiO ₂ -Cat (3,5%)	22,90 × 10 ⁻³
PANi/SiO ₂ -Cat (4,5%)	2,51 × 10 ⁻³
PANi/SiO ₂ -Cat (5%)	2,47 × 10 ⁻³
PANi/SiO ₂ -Cat (5,5%)	0,63 × 10 ⁻³
PANi/SiO ₂ -Cat (6,5%)	3,61 × 10 ⁻³

Variasi komposisi PANi/SiO₂ sebesar 5,5% menunjukkan nilai laju korosi terendah, yaitu 0,63 × 10⁻³ mm/year. Komposisi ini mampu membentuk lapisan pelindung yang optimal dengan distribusi partikel SiO₂ yang merata serta jaringan konduktif PANi yang efektif dalam menahan penetrasi ion-ion agresif seperti klorida dari lingkungan korosif. Pada konsentrasi ini, PANi berperan sebagai mediator pasivasi secara elektrokimia, sedangkan SiO₂ berfungsi sebagai penghalang fisik terhadap penetrasi elektrolit. Paduan keduanya menghasilkan perlindungan ganda melalui mekanisme hambatan elektrokimia dan fisik, yang terbukti efektif dalam menurunkan arus dan laju korosi.

Pada konsentrasi 3,5% laju korosi justru meningkat secara signifikan menjadi 22,90 × 10⁻³ mm/year. Hal ini menunjukkan bahwa kandungan PANi/SiO₂ masih belum mencukupi untuk membentuk lapisan pelindung yang efektif. Rendahnya kandungan SiO₂ menyebabkan jumlah partikel pengisi anorganik tidak cukup untuk menghambat difusi ion-ion korosif secara optimal dan tingginya kandungan PANi menyebabkan struktur lapisan pelindung menjadi tidak stabil, dengan kecenderungan mengalami retak atau penyusutan saat pengeringan, sehingga menurunkan efektivitas perlindungan terhadap korosi (Yang et al., 2022).

Pada konsentrasi 4,5% dan 5%, nilai laju korosi menurun signifikan menjadi 2,51 × 10⁻³ dan 2,47 × 10⁻³ mm/year. Penurunan ini menunjukkan bahwa komposisi material mulai mendekati kesetimbangan antara PANi dan SiO₂, sehingga efektivitas perlindungan meningkat. Namun, hasil ini masih belum sebaik komposisi 5,5%. Sementara itu, pada konsentrasi 6,5%, laju korosi kembali meningkat menjadi 3,61 × 10⁻³ mm/year. Hal ini disebabkan oleh ketidakseimbangan komposisi, di mana kandungan SiO₂ yang terlalu tinggi dan PANi yang terlalu rendah justru menurunkan kinerja lapisan pelindung. Kelebihan SiO₂ dapat menyebabkan aglomerasi partikel dan distribusi yang tidak merata, membentuk celah mikro atau pori-pori yang menjadi jalur masuk ion-ion agresif seperti klorida (Deng et al., 2017). Di sisi lain, rendahnya konsentrasi PANi mengurangi kontribusi perlindungan elektrokimia, karena mekanisme redoks dan pasivasi menjadi tidak optimal, sehingga permukaan logam menjadi lebih rentan terhadap korosi (Boshkova et al., 2019).

IV. PENUTUP

A. Kesimpulan

Komposisi PANi/SiO₂ yang memberikan perlindungan korosi terbaik pada baja SS 304 adalah konsentrasi 5,5%, dengan nilai laju korosi sebesar 0,63 × 10⁻³ mm/year. Pada konsentrasi ini, distribusi partikel SiO₂ merata, dan jaringan konduktif PANi cukup efektif dalam menahan penetrasi ion-ion klorida yang bersifat agresif dari lingkungan korosif, sehingga menghasilkan perlindungan yang optimal. Jenis korosi yang menyerang baja ini adalah korosi sumuran (*pitting corrosion*). Permukaan baja pada konsentrasi 5,5% tampak

paling halus dan menunjukkan gejala korosi paling minimal karena kedua material bekerja secara sinergis membentuk lapisan yang homogen, rapat, dan tahan terhadap penetrasi ion-ion agresif.

B. Saran

Pada penelitian selanjutnya, diharapkan dapat melakukan pengujian lebih lanjut dengan variasi konsentrasi PANi/SiO₂ yang lebih luas guna memperoleh data yang lebih komprehensif terhadap perlindungan korosi. Selain itu, pelapisan juga dapat dilapiskan pada jenis baja lainnya guna membuktikan efektivitas pelapis berbasis PANi/SiO₂ dalam berbagai kondisi lingkungan korosif.

DAFTAR PUSTAKA

- Ajeel, K. I., & Kareem, Q. S. (2019). Synthesis and Characteristics of Polyaniline (PANI) Filled by Graphene (PANI/GR) nano-Films. *Journal of Physics: Conference Series*, 1234(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1234/1/012020>
- Aljamali, N. M., Mohsin, N. M. B., & Ali, N. (2019). Review on Corrosion and Rust Inhibition of Machines in Chemical Engineering Field. *International Journal of Thermodynamics and Chemical Kinetics*, 5(1), 15–22. <https://www.researchgate.net/publication/334234100>
- Andari, D., Prima Yudha S. S., & Adfa, M. (2022). Komposit polianilin/logam oksida: sintesis, karakterisasi dan aplikasi: sebuah telaah pustaka. *Rafflesia Journal of Natural and Applied Sciences*, 2(1), 128–134. <https://doi.org/10.33369/rjna.v2i1.24443>
- Boshkova, N., Tabakova, N., Atanassova, G., & Boshkov, N. (2019). Electrochemical obtaining and corrosion behavior of zinc-polyaniline (Zn-PANI) hybrid coatings. *Coatings*, 9(8). <https://doi.org/10.3390/coatings9080487>
- Catur Pramono, Xander Salahudin, B. M. I. (2023). Analisa Kekuatan Mekanik Sambungan Bahan Serupa Tipe Ss304 Pada Pengelasan Tungsten Inert Gas (Tig). *Journal of Mechanical Engineering*, 4(1), 88–100.
- Chandra, D., Budiarto, U., & Yudo, H. E. (2021). Analisa Teknis Kekuatan dan Perbandingan Biaya Material Poros Baling-Baling Kapal Nelayan Daerah Batang Dengan Menggunakan Metode Elemen Hingga. *Jurnal Teknik Perkapalan*, 9(4), 334–342. <https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/naval>
- Dahrul, E., & Ridlo Pramurti, A. (2019). Pengukuran pH dan Pengaruh Gas Terlarut di Dalam Air terhadap Laju Korosi pada Air Injeksi untuk Keperluan Water Flooding. *Seminar Nasional Rekayasa Dan Teknologi*, November, 2–3.
- Deng, F., Wang, L., Zhou, Y., Gong, X., Zhao, X., Hu, T., & Wu, C. (2017). Effect of nanosilica content on the corrosion inhibition of composite coatings of a filled epoxy resin grafted with a hydrophobic fluoroalkylsilane: A dual critical concentrations interpretation. *RSC Advances*, 7(77), 48876–48893. <https://doi.org/10.1039/c7ra10315h>
- Fan, B., Yang, J., Cao, L., Wang, X., Li, J., Yang, Y., Wang, Q., Zhang, P., Vogel, F., Li, W., & Lin, Z. (2023). Revealing the Impact of Micro-SiO₂ Filler Content on the Anti-Corrosion Performance of Water-Borne Epoxy Resin. *Polymers*, 15(15). <https://doi.org/10.3390/polym15153273>
- Islami, N., Ihsan, M., Hafli, T., Putra, R., & Muhammad, M. (2021). Pengaruh Lingkungan Korosif dan Beban Mekanis Terhadap Perilaku Korosi pada Material Stainless Steel AISI-304. *Malikussaleh Journal of Mechanical Science and Technology*, 5(2), 28. <https://doi.org/10.29103/mjmst.v5i2.6025>
- Javed, M. A., Neil, W. C., & Wade, S. A. (2022). Effect of test media on the crevice corrosion of stainless steel by sulfate reducing bacteria. *Npj Materials Degradation*, 6(1). <https://doi.org/10.1038/s41529-022-00250-4>
- Meer, S., Kausar, A., & Iqbal, T. (2016). Attributes of Polymer and Silica Nanoparticle Composites: A Review. *Polymer - Plastics Technology and Engineering*, 55(8), 826–861. <https://doi.org/10.1080/03602559.2015.1103267>
- Munasir, Luvita, N. R. D., Kusumawati, D. H., Putri, N. P., Triwikantoro, & Supardi, Z. A. I. (2018). Synthesis of PANi-SiO₂ Nanocomposite with In-Situ Polymerization Method: Nanoparticle Silica (NPS) Amorphous and Crystalline Phase. *Journal of Physics: Conference Series*, 997(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/997/1/012052>
- Munasir, M., Umah, H., & Syahra, D. (2016). "Uji Potensiodinamik Material Pelapis Anti- Korosi: Acrylic Paint-PANi/SiO₂". *JPSE (Journal of Physical Science and Engineering)*, 1(1), 25–28.

<https://doi.org/10.17977/um024v1i12016p025>

- Natalia, G., Budi, E., & Sugihartono, I. (2023). Analisis Morfologi Dan Komposisi Lapisan Komposit Ni-Aln Dengan Metode Elektrodeposisi Menggunakan Scanning Electron Microscopy-Energy Dispersive Spectroscopy (Sem-Eds). February. <https://doi.org/10.21009/03.1101.fa14>
- Novita, S., Ginting, E., & Astuti, W. (2018). Analisis Laju Korosi dan Kekerasan pada Stainless Steel 304 dan Baja Nikel Laterit dengan Variasi Kadar Ni (0, 3, dan 10%) dalam Medium Korosif. *JURNAL Teori Dan Aplikasi Fisika*, 6(1), 21–32.
- Setiawan, A., Suprihanto, A., & Sulisty. (2021). Pengaruh kekasaran permukaan terhadap ketahanan korosi stainless steel 444 dalam cairan saliva buatan. *Jurnal Teknik Mesin Indonesia*, 16(2), 92–96.
- Sofian, M., Akmal R, M., Naura, D., Ayu, V., Hidayat, W., Fauzan, M., Yhuto, A., & Putra, W. (2022). Perlindungan Korosi Di Perkapalan. *Jurnal Pendidikan Teknik Mesin*, 22(2), 50.
- Swati, Verma, R., Chauhan, A., Shandilya, M., Li, X., Kumar, R., & Kulshrestha, S. (2020). Antimicrobial potential of ag-doped ZnO nanostructure synthesized by the green method using moringa oleifera extract. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 8(3), 103730. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2020.103730>
- Syahra, D. M. T., & Munasir. (2015). Analisis Sifat Korosi Material Pelapis PANi-SiO₂/cat Pada Medium NaCl 1M Dengan Metode EIS. *Jurnal Inovasi Fisika Indonesia*, 04, 101–105.
- Tampubolon, M., Gultom, R. G., Siagian, L., Lumbangaol, P., & Manurung, C. (2020). Laju Korosi Pada Baja Karbon Sedang Akibat Proses Pencelupan Pada Larutan Asam Sulfat (H₂SO₄) dan Asam Klorida (HCl) dengan Waktu Bervariasi. *Sprocket Journal of Mechanical Engineering*, 2(1), 13–21. <https://doi.org/10.36655/sprocket.v2i1.294>
- Ummah, H., & Munasir,). (2015). Studi Sifat Anti-Korosi Material Coating CAT-PANi/SiO₂ dengan Metode Polarisasi Linear. *Jurnal Inovasi Fisika Indonesia*, 04, 133–137.
- Wulandari, R. F., & Putri, N. P. (2021). Sintesis Soluble Polianilin dengan Variasi Jenis dan Konsentrasi Dopan. *Jurnal Teori Dan Aplikasi Fisika*, 9(2), 211. <https://doi.org/10.23960/jtaf.v9i2.2809>
- Yang, G., Liu, F., Hou, N., Peng, S., He, C., & Fang, P. (2022). Preparation of One-Dimensional Polyaniline Nanotubes as Anticorrosion Coatings. *Materials*, 15(9). <https://doi.org/10.3390/ma15093192>