

FABRIKASI PELAPISAN DAN KARAKTERISASI MATERIAL *STAINLESS STEEL 304* MENGGUNAKAN PANi/Al₂O₃ DENGAN TEKNIK *AIR SPRAY*

*Zidan Hasbi Assidicky¹, Sulistyo Sulistyo², Mohammad Tauviqirrahman²

¹Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

²Dosen Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

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

*E-mail: zidanhasbi143@gmail.com

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh kekasaran permukaan substrat, rasio komposit PANi/Al₂O₃ terhadap cat/thinner, serta perlakuan panas pasca-deposisi terhadap adhesi lapisan pada *Stainless Steel 304* (SS304) menggunakan metode *air spray*. Variasi kekasaran permukaan diperoleh melalui pengamplasan menggunakan grit 400, 800, dan 1200, sedangkan variasi komposisi PANi/Al₂O₃ : cat/thinner yang digunakan adalah 1:10, 1:15, dan 1:20. Proses pelapisan dilakukan pada jarak semprot 15 cm dengan perlakuan panas pada suhu 150°C dan 250°C selama 2 jam. Karakterisasi meliputi pengujian kekasaran permukaan, morfologi lapisan, ketebalan lapisan, dan adhesi menggunakan metode *cross-cut* berdasarkan ASTM D3359-17. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai kekasaran rata-rata tertinggi diperoleh pada grit 400 sebesar 0,948 µm, sedangkan grit 1200 menghasilkan kekasaran terendah sebesar 0,360 µm. Ketebalan lapisan yang dihasilkan berada pada rentang 141–194 µm. Adhesi terbaik diperoleh pada substrat grit 400 dengan komposisi 1:10 setelah pemanasan 250°C yang menghasilkan area terkelupas sebesar 0% dengan klasifikasi ASTM D3359 sebesar 5B. Sebaliknya, adhesi terendah diperoleh pada substrat grit 1200 dengan komposisi 1:20 yang menunjukkan area terkelupas sebesar 59,01% dengan klasifikasi 1B. Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan kekasaran permukaan mampu meningkatkan ikatan mekanis antara lapisan dan substrat sehingga menghasilkan performa adhesi yang lebih baik.

Kata kunci: adhesi lapisan; *air spray coating*; astm d3359-17; pani/al2o3, *stainless steel*

Abstract

This study aims to analyze the effects of substrate surface roughness, PANi/Al₂O₃ composite-to-paint/thinner ratio, and post-deposition heat treatment on the adhesion performance of coatings deposited on *Stainless Steel 304* (SS304) using the *air spray* method. Surface roughness variations were obtained by sanding the substrates using grit sizes of 400, 800, and 1200, while the PANi/Al₂O₃-to-paint/thinner composition ratios employed were 1:10, 1:15, and 1:20. The coating process was carried out at a constant spray distance of 15 cm, followed by heat treatments at 150°C and 250°C for 2 h. Characterization included surface roughness measurement, coating morphology observation, coating thickness measurement, and adhesion testing using the *cross-cut* method based on ASTM D3359-17. The results showed that the highest average surface roughness value was obtained for grit 400, reaching 0.948 µm, whereas grit 1200 exhibited the lowest roughness value of 0.360 µm. The resulting coating thickness ranged from 141 to 194 µm. The best adhesion performance was achieved on the grit 400 substrate with a composition ratio of 1:10 after heat treatment at 250°C, resulting in a delaminated area of 0% and an ASTM D3359 classification of 5B. In contrast, the poorest adhesion performance was observed on the grit 1200 substrate with a composition ratio of 1:20, which exhibited a delaminated area of 59.01% and an ASTM classification of 1B. The results indicate that increasing surface roughness enhances the mechanical interlocking between the coating and substrate, thereby improving coating adhesion performance.

Keywords: *air spray coating*; astm d3359-17; coating adhesion; pani/al2o3; *stainless steel*

1. Pendahuluan

Stainless Steel 304 (SS304) merupakan material yang banyak digunakan dalam berbagai aplikasi industri karena memiliki ketahanan korosi yang baik, sifat mekanik yang tinggi, serta kemudahan dalam proses fabrikasi. Meskipun demikian, SS304 masih berpotensi mengalami degradasi permukaan akibat korosi dan keausan selama pengoperasian sehingga diperlukan upaya untuk meningkatkan performa permukaannya [1].

Salah satu metode yang banyak digunakan untuk meningkatkan ketahanan permukaan logam adalah melalui pelapisan (*coating*). Polianilin (PANi) merupakan polimer konduktif yang memiliki stabilitas lingkungan yang baik serta

mampu memberikan perlindungan korosi aktif melalui pembentukan lapisan pasif pada permukaan logam [2]. Selain itu, PANi juga diketahui mampu meningkatkan mekanisme perlindungan korosi dengan menghambat difusi ion korosif menuju permukaan substrat [3]. Namun, PANi memiliki kelemahan berupa kekuatan mekanik dan ketahanan aus yang relatif rendah.

Untuk mengatasi kelemahan tersebut, PANi dapat dikombinasikan dengan material keramik aluminium oksida (Al_2O_3) sehingga membentuk komposit hibrida PANi/ Al_2O_3 . Aluminium oksida memiliki kekerasan tinggi, stabilitas termal yang baik, serta mampu meningkatkan kekuatan mekanik dan mengurangi porositas lapisan [4]. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa penambahan Al_2O_3 pada sistem pelapis berbasis PANi mampu meningkatkan ketahanan korosi dan adhesi lapisan secara signifikan [5].

Pelapisan komposit PANi/ Al_2O_3 pada penelitian ini dilakukan menggunakan metode *air spray coating*. Metode ini dipilih karena memiliki biaya operasional yang relatif rendah, mudah diaplikasikan pada geometri kompleks, serta mampu menghasilkan lapisan pada area permukaan yang luas [6]. Akan tetapi, kualitas lapisan yang dihasilkan sangat dipengaruhi oleh parameter proses, salah satunya adalah kekasaran permukaan substrat. Peningkatan kekasaran permukaan dapat memperbesar mekanisme *mechanical interlocking* antara lapisan dan substrat sehingga menghasilkan adhesi yang lebih baik [7].

Selain kekasaran permukaan, perlakuan panas pasca-deposisi juga berperan penting dalam menentukan kualitas lapisan. Perlakuan panas dapat meningkatkan densifikasi lapisan dan memperkuat ikatan antarpartikel *coating*. Namun, suhu yang terlalu tinggi berpotensi menimbulkan tegangan termal pada antarmuka *coating*-substrat yang dapat menurunkan adhesi lapisan [8].

Berdasarkan kajian literatur, penelitian mengenai pengaruh kekasaran permukaan, rasio PANi/ Al_2O_3 terhadap cat/thinner, serta perlakuan panas pasca-deposisi terhadap adhesi lapisan PANi/ Al_2O_3 menggunakan metode air spray masih terbatas. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh parameter tersebut terhadap ketebalan dan kekuatan adhesi lapisan PANi/ Al_2O_3 pada substrat SS304.

2. Bahan dan Metode Penelitian

Bahan material yang digunakan sebagai lapisan *coating* merupakan komposit hibrida yang terdiri atas polianilin (PANi) dan serbuk aluminium oksida (Al_2O_3). PANi disintesis menggunakan metode polimerisasi oksidatif kimia dengan bahan baku monomer anilin, larutan HCl 1 M, dan *ammonium persulfate* (APS) sebagai oksidator. Selanjutnya, PANi dicampurkan dengan serbuk Al_2O_3 untuk membentuk komposit PANi/ Al_2O_3 . Adapun substrat yang digunakan pada penelitian ini adalah *stainless steel* 304 (SS304) berbentuk silinder. Proses pelapisan dilakukan menggunakan metode *air spray coating* dengan variasi kekasaran permukaan, rasio PANi/ Al_2O_3 terhadap cat/thinner, serta perlakuan panas pasca-deposisi.

2.1 Komponen

Proses pelapisan pada substrat *stainless steel* memerlukan beberapa peralatan pengujian untuk mengevaluasi karakteristik lapisan yang dihasilkan, meliputi kekasaran permukaan, ketebalan lapisan, dan kekuatan adhesi.

2.1.1 Surface Roughness Mitutoyo SJ-210

Surface Roughness Tester Mitutoyo SJ-210 merupakan instrumen yang digunakan untuk mengukur tingkat kekasaran permukaan suatu material dengan menerapkan metode *stylus profilometry*. Pada metode ini, stylus berbahan berlian digerakkan sepanjang permukaan spesimen untuk mendeteksi perubahan ketinggian mikro pada permukaan. Perubahan tersebut kemudian dikonversi menjadi sinyal listrik dan diproses untuk menghasilkan profil kekasaran permukaan.



Gambar 1. Surface Roughness Mitutoyo SJ-210

2.1.2 Coating Thickness Gauge UNI-T UT343D

Pengukuran ketebalan lapisan pelapis biasanya dilakukan dengan metode non-destruktif menggunakan alat seperti *Coating Thickness Gauge*, contohnya UNI-T UT343D, yang beroperasi berdasarkan prinsip induksi magnetik atau arus eddy. Alat tersebut mendeteksi perubahan medan magnet atau arus eddy yang disebabkan oleh keberadaan lapisan non-konduktif di atas substrat logam, sehingga mampu menentukan ketebalan lapisan dengan tingkat akurasi yang tinggi.



Gambar 2. Coating Thickness Gauge UNI-T UT343D

2.1.3 QFH-HG600, Hot Cross Hatch Adhesion Tester

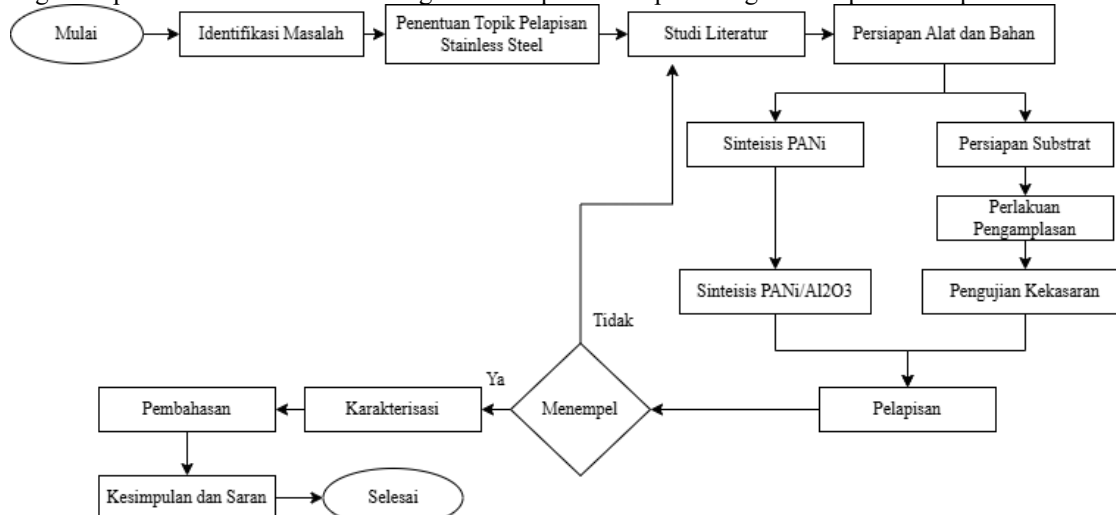
QFH-HG600 *Hot Cross Hatch Adhesion Tester* merupakan alat yang digunakan untuk mengevaluasi kekuatan adhesi lapisan coating terhadap substrat menggunakan metode *cross-cut test*. Prinsip pengujian dilakukan dengan membuat pola sayatan berbentuk kisi (*cross hatch*) pada permukaan lapisan menggunakan pisau pemotong khusus. Setelah proses penyayatan, pita perekat ditempelkan dan kemudian dilepaskan untuk mengamati tingkat pengelupasan lapisan pada area pengujian. Hasil pengujian adhesi selanjutnya diklasifikasikan berdasarkan standar ASTM D3359-17, yang mengelompokkan kualitas adhesi lapisan ke dalam beberapa kategori, mulai dari 5B yang menunjukkan tidak adanya pengelupasan hingga 0B yang menunjukkan pengelupasan sangat parah.



Gambar 3. QFH-HG600, Hot Cross Hatch Adhesion Tester

2.2 Alur Penelitian

Rangkaian penelitian ini dilakukan sebagaimana dapat dilihat pada diagram alir penelitian pada Gambar 4 berikut.



Gambar 4. Diagram Alir Penelitian

2.3 Proses Pengamplasan

Proses pengamplasan dilakukan sebagai tahap persiapan permukaan (*surface preparation*) sebelum proses pelapisan PANi/Al₂O₃ pada substrat *stainless steel* 304 (SS304). Pengamplasan bertujuan untuk menghilangkan kotoran, oksida, dan ketidakrataan permukaan, serta menghasilkan tingkat kekasaran tertentu yang dapat meningkatkan ikatan mekanis (*mechanical interlocking*) antara lapisan *coating* dan substrat. Pada penelitian ini, pengamplasan dilakukan secara manual menggunakan kertas amplas dengan variasi grit 400, 800, dan 1200. Setelah proses pengamplasan selesai, kemudian substrat diuji kekasarannya menggunakan alat uji *Surface Roughness* Mitutoyo SJ-210. Permukaan substrat dibersihkan menggunakan aseton untuk menghilangkan debu dan kontaminan yang masih menempel. Selanjutnya, substrat dikeringkan pada suhu ruang sebelum dilakukan proses pelapisan menggunakan teknik *air spray coating*.

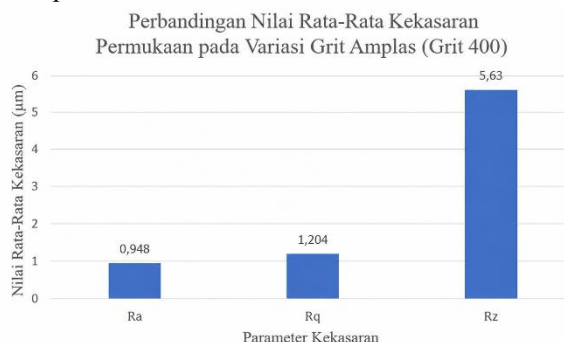
2.4 Coating PANi/Al₂O₃

Serbuk PANi-Al₂O₃ yang sudah terbentuk akan dilapiskan ke *stainless steel* 304. Sebanyak 1 gram PANi-Al₂O₃ dicampur dengan 10 ml, 15 ml, dan 20 ml cat yang dicampurkan dengan *thinner* dengan komposisi cat : *thinner* yaitu 1 ml : 0,5 ml kemudian diaduk. Hasil dari penggabungan antara PANi/Al₂O₃ dan cat tersebut disemprotkan ke permukaan SS304 pada jarak 15 cm dan tekanan 2 bar menggunakan *spraygun* dengan ukuran diameter nozzle yaitu 1,5 mm, kemudian dikeringkan pada suhu ruang.

3. Hasil dan Pembahasan

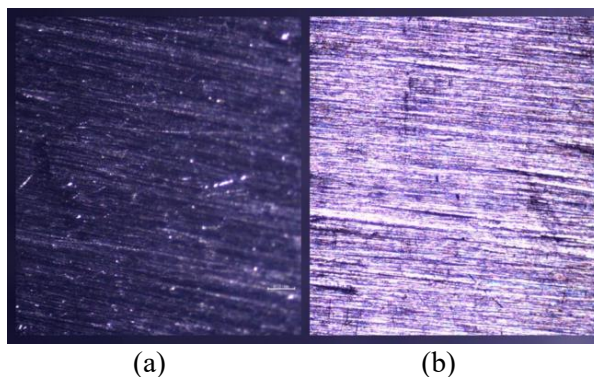
3.1 Hasil Uji Kekasaran

Hasil pengujian menunjukkan bahwa semakin kecil nomor grit amplas, maka nilai kekasaran permukaan yang dihasilkan semakin tinggi. Nilai kekasaran rata-rata masing-masing sebesar 0,948 μm untuk grit 400, 0,605 μm untuk grit 800, dan 0,360 μm untuk grit 1200. Peningkatan kekasaran permukaan menghasilkan area kontak yang lebih besar sehingga meningkatkan ikatan mekanis antara lapisan dan substrat.



Gambar 5. Perbandingan Nilai Rata-Rata Kekasaran Permukaan pada Variasi Grit Amplas

Setelah *Stainless steel* 304 dilakukan perlakuan pengamplasan kemudian dilakukan pengamatan menggunakan mikroskop untuk mengetahui morfologi permukaan antara yang diberi perlakuan pengamplasan dan tanpa perlakuan pengamplasan.

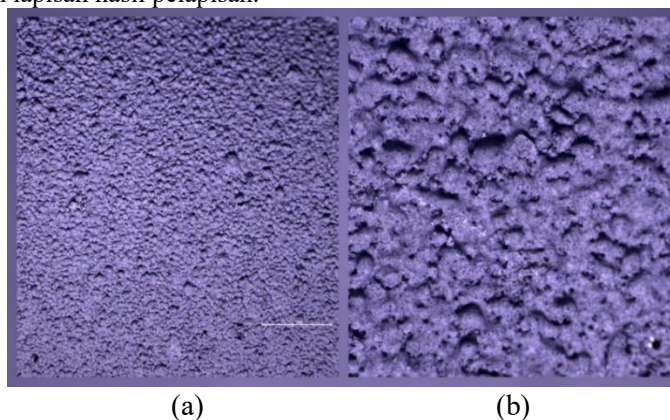


Gambar 6. Morfologi Permukaan (a) Tanpa Pengamplasan (b) Pengamplasan

Proses pengamplasan dilakukan sebagai tahap persiapan permukaan (*surface preparation*) untuk menghasilkan tingkat kekasaran tertentu pada substrat SS304 sebelum proses pelapisan. Kekasaran permukaan memiliki peranan penting dalam meningkatkan ikatan mekanis (*mechanical interlocking*) antara lapisan dan substrat sehingga dapat meningkatkan kekuatan adhesi lapisan [7]. Selain itu, proses pengamplasan juga berfungsi untuk menghilangkan kontaminan, lapisan oksida, dan ketidakrataan permukaan yang dapat mempengaruhi kualitas pelapisan [9].

3.2 Hasil Pelapisan

Hasil pelapisan komposit PANi/Al₂O₃ pada substrat *Stainless Steel* 304 (SS304) diamati untuk mengevaluasi morfologi permukaan lapisan yang terbentuk setelah proses *air spray coating*. Pengamatan morfologi dilakukan menggunakan mikroskop optik pada perbesaran 6,7× dan 40× untuk mengetahui tingkat homogenitas, distribusi partikel, serta karakteristik permukaan lapisan hasil pelapisan.



Gambar 7. Morfologi Lapisan Cat PANi/Al₂O₃ perbesaran (a) 6,7x (b) 40x

Morfologi lapisan *coating* PANi/Al₂O₃ pada permukaan SS304 menunjukkan terbentuknya lapisan yang menutupi permukaan substrat. Pada perbesaran 6,7× (Gambar 7a), lapisan *coating* tampak tersebar secara merata pada permukaan spesimen dengan tekstur permukaan yang relatif homogen. Sementara itu, pada perbesaran 40× (Gambar 7b), terlihat adanya struktur permukaan yang tidak rata berupa aglomerasi partikel serta pori-pori kecil yang tersebar pada lapisan *coating*. Fenomena tersebut mengindikasikan bahwa proses pelapisan telah berhasil membentuk lapisan komposit PANi/Al₂O₃ pada permukaan SS304.

3.3 Hasil Uji Ketebalan Lapisan

Setelah dilakukan pengamatan secara makro kemudian dilakukan uji ketebalan lapisan *coating* menggunakan alat *Coating Thickness Gauge* dan dipatkan hasil data sebagai berikut:

Tabel 1 Data Ketebalan Lapisan Cat PANi/Al₂O₃

No.	Komposisi Campuran (gr:ml)	Grit	Ketebalan (μm)
1	1:10	400	171
		800	153
		1200	141
2	1:15	400	153
		800	151
		1200	150
3	1:20	400	194
		800	172
		1200	158

Berdasarkan Tabel 1, ketebalan lapisan *coating* PANi/Al₂O₃ pada permukaan SS304 menunjukkan adanya variasi pada setiap komposisi campuran PANi/Al₂O₃ : *thinner* yang digunakan. Pada komposisi 1:10 diperoleh ketebalan lapisan sebesar 171 μm, 153 μm, dan 141 μm masing-masing pada spesimen dengan perlakuan pengamplasan grit 400, 800, dan 1200. Pada komposisi 1:15 diperoleh ketebalan lapisan sebesar 153 μm pada grit 400, 151 μm pada grit 800, dan 150 μm pada grit 1200. Sementara itu, pada komposisi 1:20 diperoleh ketebalan lapisan sebesar 194 μm, 172 μm, dan 158 μm untuk grit 400, 800, dan 1200. Secara umum, ketebalan lapisan cenderung lebih besar pada spesimen dengan grit 400 dan menurun pada grit 1200. Hal ini menunjukkan bahwa kekasaran permukaan substrat turut memengaruhi ketebalan lapisan *coating* yang terbentuk [10].

3.4 Adhesi Lapisan

Pengujian adhesi menunjukkan bahwa kekasaran permukaan berpengaruh signifikan terhadap kekuatan adhesi lapisan. Substrat dengan grit 400 menghasilkan performa adhesi terbaik karena memiliki mekanisme *mechanical interlocking* yang lebih kuat dibandingkan grit 800 dan 1200.

Selain itu, komposisi *coating* juga memengaruhi adhesi lapisan. Komposisi 1:10 menghasilkan adhesi lebih baik dibandingkan komposisi 1:15 dan 1:20. Penambahan *thinner* yang berlebihan menyebabkan penurunan viskositas sehingga lapisan menjadi lebih tipis dan kurang mampu membentuk ikatan yang kuat dengan substrat.

Perlakuan panas pada suhu 250°C mampu meningkatkan kualitas adhesi pada beberapa variasi dengan memperkuat ikatan antarpartikel *coating*. Hasil terbaik diperoleh pada substrat grit 400 dengan komposisi 1:10 yang menghasilkan area terkelupas sebesar 0% dengan klasifikasi ASTM D3359 sebesar 5B. Sebaliknya, substrat grit 1200 dengan komposisi 1:20 menunjukkan area terkelupas sebesar 59,01% dan klasifikasi 1B.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan dengan judul “Fabrikasi Pelapisan dan Karakterisasi Material *Stainless Steel* 304 Menggunakan PANi/Al₂O₃ dengan Teknik *Air Spray*” diperoleh kesimpulan sebagai berikut.

1. Kekasaran permukaan substrat berpengaruh signifikan terhadap adhesi lapisan PANi/Al₂O₃ pada SS304. Semakin tinggi kekasaran permukaan, semakin baik performa adhesi lapisan.
2. Ketebalan lapisan *coating* PANi/Al₂O₃ berada pada rentang 141–194 µm dan dipengaruhi oleh komposisi campuran *coating*.
3. Adhesi terbaik diperoleh pada substrat grit 400 dengan komposisi 1:10 setelah perlakuan panas 250°C yang menghasilkan klasifikasi ASTM D3359 sebesar 5B.

5. Daftar Pustaka

- [1] Qian-si, W., 2008. Standard chemical composition of stainless steel "304" (06Cr19Ni10) and its derivatives grades. Metallurgical Standardization & Quality.
- [2] Bhadra, S., Khastgir, D., Singha, N.K. & Lee, J.H., 2009. Progress in preparation, processing and applications of polyaniline. Progress in Polymer Science, 34(8), pp. 783–810.
- [3] Ali, M.R.R., Tigno, S.D., Honeyman, J.S. & Caldon, E.B., 2024. Adhesion-Diffusional-Based Corrosion Protection Mechanisms of Polyaniline-Primed Fluoropolymer Coatings. ACS Applied Polymer Materials, 6(5).
- [4] Aldbea, F.W. et al., 2025. Structural and Optical Properties of α Aluminum Oxide Prepared by Sol-Gel Method. Current Applied Physics, 71, pp. 85–90.
- [5] Seifi, M.H., Baei, M.S., Ghorbani, M. & Omidkhah, M.R., 2023. Study on Synthesis of Doped Polyaniline with Alumina and Its Anticorrosion Properties as an Additive in Paint Coating. Iranian Journal of Chemistry and Chemical Engineering.
- [6] Barhoumi, N., Khelifi, K., Maazouz, A. & Lamnawar, K., 2022. Fluorinated Ethylene Propylene Coatings Deposited by a Spray Process: Mechanical Properties, Scratch and Wear Behavior. Polymers.
- [7] Zhang, Q., Yu, M., Zhang, B. & Li, H., 2022. Effect of Surface Roughness of Electroplating Chromium Coated Steel on Bonding Strength of Polymer Coated Steel. Polymers and Polymer Composites, 30, pp. 1–10.
- [8] Setyarini, P.H., Baharuddin, M.F.Z., Dewi, F.G.U. & Sulistyarini, D.H., 2025. The Effect of Coating Temperature on the Mechanical and Adhesive Properties of Polypropylene-Coated Kraft and Duplex Papers. Engineering, Technology & Applied Science Research, 15(5), pp. 27470–27477.
- [9] Zhou N. Surface Integrity and Corrosion Behavior of Stainless Steels after Grinding Operations. Trollhättan: University West; 2018.
- [10] Croll, S., 2020. Surface roughness profile and its effect on coating adhesion and corrosion protection: A review. Progress in Organic Coatings, Volume 148, p. 105847.