

KARAKTERISASI PELAPISAN MATERIAL BERPORI MENGGUNAKAN METODE *SPIN COATING*

Muhammad Fahmi¹, Sulistyo², Agus Suprihanto²

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: inimfahmi@gmail.com

Abstrak

Lapisan tipis memiliki banyak penerapan berbeda dalam teknologi modern digunakan di sebagian besar aplikasi industri. Dengan mengontrol ketebalan dan sifat lapisan tipis, dimungkinkan untuk membuat bahan dengan sifat spesifik yang berguna untuk berbagai aplikasi teknologi. Salah satu proses untuk menghasilkan lapisan tipis adalah dengan metode *spin coating*, yang memiliki beberapa parameter untuk berpengaruh dalam menghasilkan lapisan tipis diantaranya adalah kecepatan putar, konsentrasi larutan pelapis dan lama proses pelapisan. Material berpori dapat dibuat dari berbagai jenis material, meliputi material logam, material polimer, dan material keramik. Salah satu tipe material berpori yang berbahan dari material keramik adalah corundum yang terbuat dari aluminium oksida (Al_2O_3). Material berpori memiliki karakteristik dan sifat tertentu seperti porositas dan permeabilitas, karakterisasi ini memiliki nilai yang mungkin berubah setelah dilakukan proses pelapisan pada material tersebut. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh dari proses pelapisan dan parameter pelapisan terhadap ketebalan lapisan tipis yang terbentuk, porositas dan permeabilitas material setelah pelapisan. Penelitian dilakukan dengan membuat piringan berpori berdiameter 25 mm dan tebal sebesar 2 mm yang terbuat dari bahan aluminium oksida (Al_2O_3) sebesar 97% dan *Polyethylene Glicol* (PEG) sebesar 3%. Selanjutnya proses pelapisan menggunakan alat *spin coater* dengan variasi kecepatan putar 1500, 1800, 2100, dan 2400 rpm serta variasi konsentrasi 10%, 15%, dan 20% dengan lama proses perputaran selama 120s. Setelah akan dilakukan beberapa pengujian berupa ketebalan lapisan tipis yang terbentuk menggunakan mikroskop makro, nilai porositas menggunakan metode massa, dan permeabilitas menggunakan alat uji permeabilitas. Dari hasil pengujian didapat bahwa semakin besar kecepatan putar yang digunakan maka hasil ketebalan lapisan tipis yang dihasilkan semakin tipis sementara konsentrasi sebanding dengan lapisan tipis yang dihasilkan. Untuk nilai porositas dan permeabilitas material mengalami penurunan setelah proses pelapisan.

Kata kunci: korundum; lapisan tipis; porositas; permeabilitas; *spin coating*

Abstract

*Thin films have many different applications in modern technology used in most industrial applications. By controlling the thickness and properties of thin films, it is possible to create materials with specific properties useful for various technological applications. One of the processes to produce thin films is the spin coating method, which has several parameters to influence in producing thin films including spin speed, concentration of coating solution and length of coating process. Porous materials can be made from various types of materials, including metal materials, polymer materials, and ceramic materials. One type of porous material made from ceramic material is corundum made from aluminium oxide (Al_2O_3). Porous materials have certain characteristics and properties such as porosity and permeability, these characterisations have values that may change after the coating process is carried out on the material. This study aims to determine the effect of the coating process and coating parameters on the thickness of the thin layer formed, porosity and permeability of the material after coating. The research was conducted by making a porous disc with a diameter of 25 mm and a thickness of 2 mm made of aluminium oxide (Al_2O_3) by 97% and *Polyethylene Glicol* (PEG) by 3%. Furthermore, the coating process uses a spin coater tool with a rotational speed variation of 1500, 1800, 2100, and 2400 rpm and concentration variations of 10%, 15%, and 20% with a rotation process duration of 120s. After some tests will be carried out in the form of thin layer thickness formed using a macro microscope, porosity value using the mass method, and permeability using a permeability test kit. From the test results, it is found that the greater the rotational speed used, the thin layer thickness results are thinner while the concentration is proportional to the thin layer produced. The porosity and permeability values of the material decreased after the coating process.*

Keywords: corundum; porosity; permeability; *spin coating*; thin film

1. Pendahuluan

Lapisan tipis merupakan jenis lapisan yang mempunyai ketebalan yang termasuk dalam orde mikrometer sampai nanometer [1]. Lapisan tipis memiliki banyak penerapan berbeda dalam teknologi modern [2]. Lapisan tipis digunakan dalam perangkat elektronik [3] (Mustafa & Jameel, 2021), semikonduktor, transistor, sel surya, fotokonduktor, dan banyak lainnya. Lapisan tipis digunakan di sebagian besar aplikasi industri. Dengan mengontrol ketebalan dan sifat lapisan tipis, dimungkinkan untuk membuat bahan dengan sifat spesifik yang berguna untuk berbagai aplikasi teknologi. Titanium dioksida (TiO_2) adalah semikonduktor oksida berbiaya rendah dan tidak beracun yang banyak digunakan di berbagai industri karena sifat optik, elektronik, dan fotokatalitiknya [4].

Spin coating merupakan suatu metode yang digunakan untuk mendeposisi lapisan tipis dalam rentang mikrometer hingga nanometer dengan cara menyebarluaskan larutan pada permukaan substrat datar kemudian diputar dengan kecepatan tertentu [3], sehingga lapisan tipis didapat melalui proses pengendapan di permukaan. Metode ini umum digunakan karena dapat menghasilkan lapisan tipis dengan ketebalan seragam mulai dari mikrometer hingga nanometer. Metode *spin coating* digunakan untuk mendeposikan lapisan tipis dengan cara meneteskan material dalam bentuk larutan ke pusat atas permukaan substrat yang tersimpan di atas piringan yang dapat berputar baik secara manual maupun dengan bantuan robot. Proses *spin coating* memiliki beberapa parameter antara lain viskositas larutan, konsentrasi larutan, ketebalan lapisan akhir, waktu pelapisan, dan kecepatan putaran akhir (ω). Saat menggunakan metode *spin coating*, gaya sentrifugal akan menyebabkan larutan menyebar ke tepi substrat dan akhirnya menguap, meninggalkan lapisan tipis resin di permukaan.

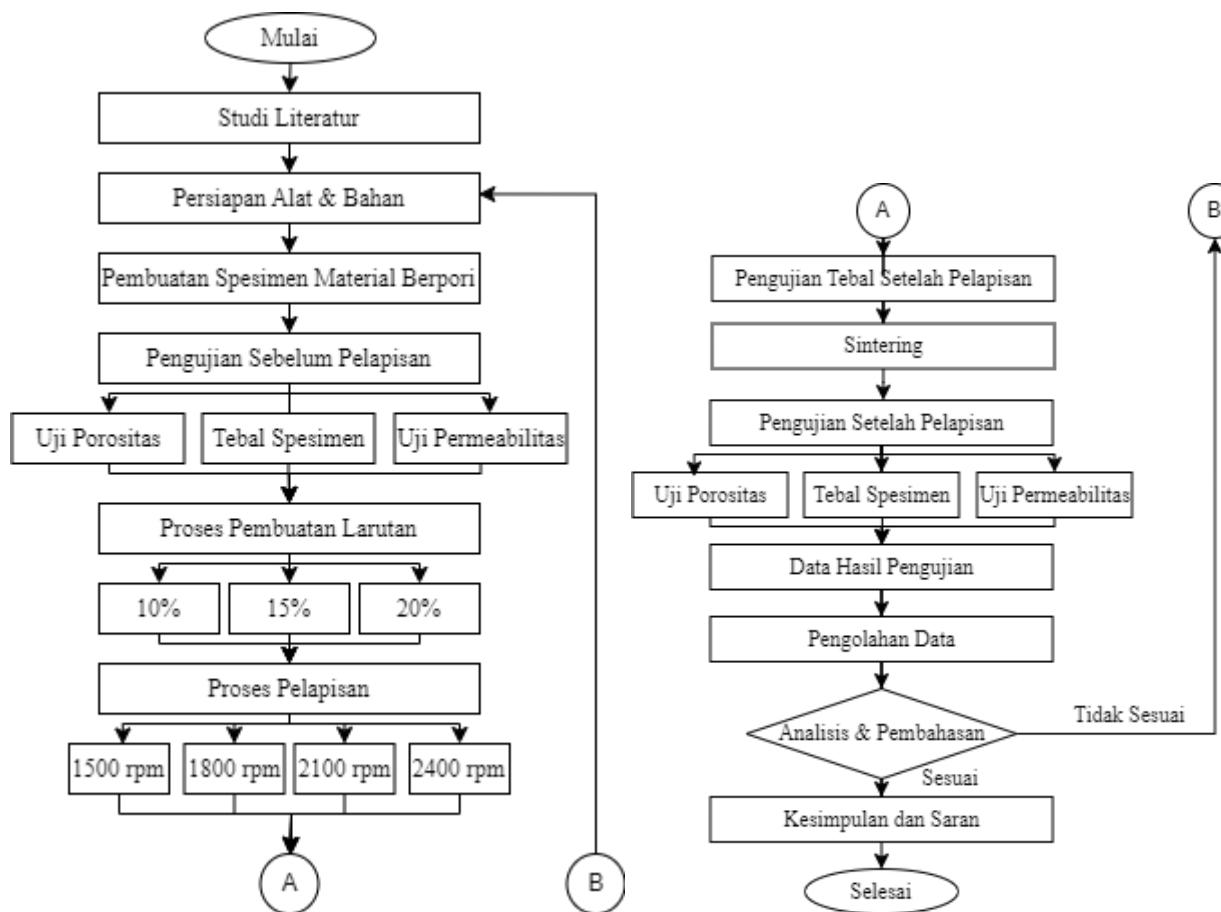
Material berpori didefinisikan sebagai material yang mengandung lubang, rongga, atau ruang dalam strukturnya, yang dapat saling berhubungan atau terisolasi [5]. Suatu material atau padatan dapat digolongkan berpori jika porositasnya antara 0,2 sampai 0,95. Berdasarkan jumlah poros, material berporos dapat diklasifikasikan menjadi 3 (tiga) macam yaitu *low porosity*, *medium porosity* dan *high porosity*. Corundum adalah bentuk kristal aluminium oksida (Al_2O_3) yang biasanya mengandung sejumlah kecil besi, titanium, vanadium, dan kromium. Meskipun merupakan bahan alami transparan, warnanya dapat berbeda karena adanya pengotor logam transisi dalam struktur kristalnya. Salah satu jenis material keramik meliputi material corundum atau dapat disebut juga α -alumina (Al_2O_3), merupakan suatu material yang terbentuk atas mineral aluminum oksida kristal yang memiliki sifat yang sangat keras serta tahan korosi.

Porositas adalah perbandingan volume pori atau ruang kosong yang ada pada batuan dengan volume total batuan. Porositas menunjukkan potensi volume air, udara, maupun gas yang dapat disimpan dalam batuan dan mempengaruhi sifat fisik batuan seperti kecepatan gelombang elastis, resistivitas elektrik, dan densitas batuan [6]. Sementara permeabilitas didefinisikan sebagai ukuran kemampuan suatu media berpori untuk meloloskan atau melewatkannya fluida [7]. Permeabilitas didefinisikan sebagai ukuran yang menunjukkan sejauh mana suatu batuan mampu mengalirkan fluida [8].

Berdasarkan penjelasan di atas, penulis akan melakukan penelitian dengan judul "Karakterisasi Pelapisan Material Berpori Menggunakan Metode *Spin Coating*". Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh kecepatan rotasi dan pengaruh konsentrasi zat terlarut terhadap ketebalan lapisan tipis yang dihasilkan, menganalisis pengaruh proses pelapisan dan pembentukan lapisan tipis terhadap porositas material setelah proses pelapisan, dan menganalisis hasil pelapisan lapisan tipis terhadap permeabilitas material setelah proses pelapisan.

2. Bahan dan Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Material, Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro Jl. Prof. H. Soedarto, S. H. Tembalang, Semarang. Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi sebagai berikut. Bahan yang digunakan diantaranya serbuk alumina, serbuk TiO_2 , *Polyethylene Glicol* (PEG), dan etanol. Sementara untuk alat yang digunakan meliputi *furnace chamber*, mesin press hidraulik, oven, mikroskop makro, *permeabilitas unit tester*, *spin coater*, hotplate magnetic stirrer, timbangan analitik, viskometer dan alat keperluan laboratorium untuk mengani bahan kimia lainnya. Dalam penelitian kali ini material berpori yang digunakan adalah material berjenis corundum yang dibuat sendiri di Laboratorium Material. Sedangkan untuk material pelapis yang digunakan adalah campuran larutan titanium dioksida yang dilarutkan dengan pelarut etanol 96% yang dibeli di toko bahan kimia. Untuk mempermudah dalam melakukan penelitian, penulis membuat diagram alir yang terlihat pada Gambar 1 berikut ini.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian.

Dari Gambar 1. Diagram Alir Penelitian, menunjukkan bagaimana alur penelitian yang akan dilakukan oleh penulis. Pembuatan spesimen material berpori dilakukan dengan cara mencampurkan serbuk alumina dengan binder kemudian dihaluskan agar homogen sebelum dikompaksi pada tekanan 7 ton. Spesimen yang telah jadi selanjutnya akan melalui proses perlakuan panas berupa pemanasan pada oven dengan suhu 150°C selama dua jam kemudian selanjutnya spesimen disinter pada suhu 100°C selama satu jam dengan heating rate dan cooling rate sebesar 10°C/menit.

Pembuatan larutan pelapis menggunakan bantuan alat stirrer dimana titanium dioksidia dilarutkan dengan pelarut etanol, larutan diaduk dengan kecepatan 600 rpm selama 2 jam. Selanjutnya larutan akan diuji besar viskositasnya menggunakan viskometer Ostwald. Viskositas adalah ukuran kekentalan suatu fluida yang menunjukkan besarnya gesekan yang terjadi pada fluida tersebut. Semakin tinggi kekentalan suatu zat cair, maka hambatannya semakin besar dan semakin sulit benda tersebut bergerak melalui zat cair tersebut [9]. Pendeposisian larutan sendiri menggunakan metode spin coating, di mana alat yang digunakan adalah spin coater.

Setelah dilakukan pelapisan spesimen disinter pada suhu 1100°C selama lima jam dengan heating rate 3°C/menit dan cooling rate nol. Hasil dari pelapisan berupa lapisan tipis diukur ketebalannya menggunakan metode analitik, dengan cara mengukur tebal spesimen sebelum dan sesudah pelapisan menggunakan bantuan mikroskop makro, hasil ketebalan lapisan tipis berupa selisih antara tebal setelah proses akhir pelapisan dan tebal awal spesimen substrat yang dilapis.

Porositas adalah perbandingan volume pori atau ruang kosong yang ada pada batuan dengan volume total batuan. Pengujian porositas pada penelitian kali ini menggunakan metode massa karena keceptan dan keefisiensiannya. Permeabilitas sendiri didefinisikan sebagai ukuran kemampuan suatu media berpori untuk meloloskan atau melewati fluida [6]. Pengujian permeabilitas pada penelitian ini dilakukan dengan menggunakan permeabilitas unit tester.

Selanjutnya adalah Pengujian makrografi merupakan metode untuk memeriksa struktur dan fitur makro suatu bahan. Pada penelitian ini pengujian makrografi digunakan untuk melihat fitur material berpori sebelum dan sesudah mengalami proses pelapisan menggunakan metode spin coating.

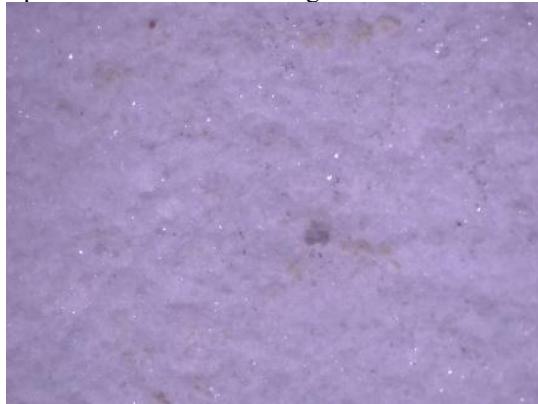
3. Hasil dan Pembahasan

Hasil dari pengujian viskositas dinamik pada larutan titanium dioksida dengan konsentrasi 10%, 15% dan 20% memiliki nilai viskositas sebesar 8,25 Pa.s, 14,85 Pa.s, dan 20,48 Pa.s dari hasil pengujian ini dapat disimpulkan bahwa semakin besar konsentrasi yang digunakan maka akan meningkatkan nilai viskositas dari larutan tersebut. Dalam tulisannya itu ia menjelaskan mengenai penurunan rumusan secara teoritis mengenai proses pelapisan menggunakan metode *spin coating*. Salah satu parameternya adalah pengaruh dari viskositas larutan terhadap tebal lapisan tipis yang terbentuk, menurutnya nilai dari viskositas suatu larutan yang menjadi pelapis dari proses pelapisan ini sebanding dengan nilai ketebalan lapisan tipis yang terbentuk. Semakin tinggi nilai viskositas semakin tebal pula lapisan tipis yang terbentuk. Nilai konsentrasi larutan sebanding dengan nilai viskositasnya, menurut Tyona [10] dalam artikel yang ditulisnya, Tyona menjelaskan mengenai teori komprehensif tentang prinsip dasar metode *spin coating* dan parameter yang mempengaruhinya.

Nilai dari ketebalan lapisan tipis yang dihasilkan menunjukkan bahwa lapisan tipis yang terbentuk ketebalannya semakin kecil sebanding dengan peningkatan kecepatan rotasi dari alat *spin coater* yang digunakan selama proses pelapisan, artinya semakin cepat putaran rotasi yang digunakan maka semakin kecil nilainya atau tipis lapisan yang terbentuk. Kecepatan putaran dalam proses *spin coating* memiliki pengaruh signifikan terhadap pembentukan lapisan film tipis, terutama melalui gaya sentrifugal yang dihasilkan. Ketika substrat diputar dengan kecepatan tinggi, gaya sentrifugal mendorong larutan ke arah tepi substrat, mengakibatkan berkurangnya ketebalan lapisan di pusat substrat.

Berdasarkan parameter yang digunakan pada proses pelapisan mempengaruhi nilai dari perubahan porositas material setelah dilapisi. Hal ini berkaitan dengan pengaruh parameter pelapisan terhadap hasil dari pelapisan itu sendiri pada pelapisan menggunakan metode *spin coating* bahwa parameter tersebut mempengaruhi hasil dari pelapisan. Oleh karena itu dapat disimpulkan bahwa semakin tipis atau kecil nilai dari ketebalan lapisan tipis yang dihasilkan dalam proses pelapisan ini semakin besar juga perubahan porositasnya. Hal ini disebabkan karena semakin tebal lapisan tipis yang terbentuk maka semakin banyak pula pori-pori dari material yang tertutup. Semakin kecil nilai porositas, maka semakin kecil juga nilai Permeabilitasnya.

Selanjutnya merupakan hasil pengujian makrostruktur berupa sampel hasil pengamatan mikroskop makro dari hasil pelapisan titanium dioksida pada substrat corundum pada kecepatan putar 1500 rpm lama pelapisan 120 detik dan konsentrasi 10% seperti yang terlihat pada Gambar 2 dan 3 sebagai berikut.

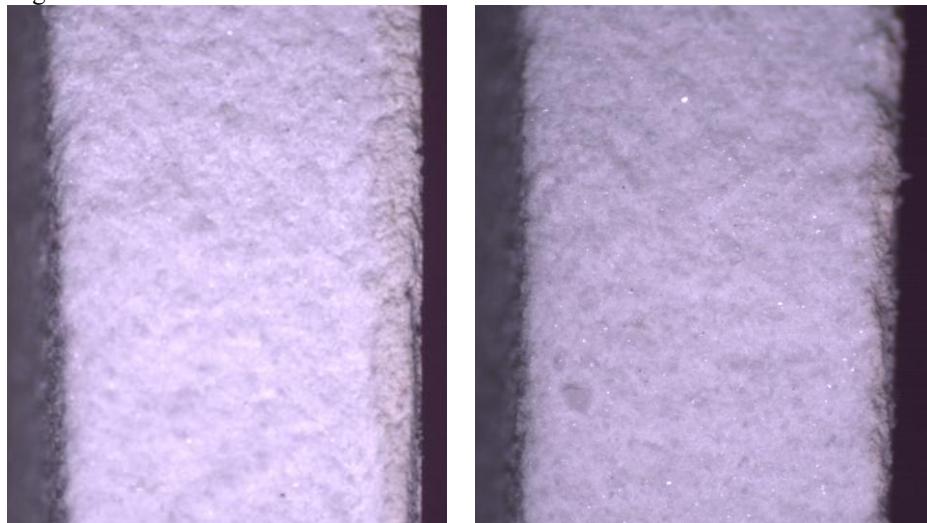


Gambar 2. Struktur Makro Substrat Korundum Sebelum Pelapisan Titanium Dioksida pada Konsentrasi 10% dan Kecepatan Putar 1500 rpm.



Gambar 3. Struktur Makro Substrat Korundum Sesudah Pelapisan Titanium Dioksida pada Konsentrasi 10% dan Kecepatan Putar 1500 rpm.

Selanjutnya merupakan hasil pengujian makro struktur berupa sampel hasil pengamatan mikroskop makro dari hasil pelapisan titanium dioksida pada substrat korundum pada penambang melintang spesimen yang ditunjukkan pada Gambar 4 dan sebagai berikut.



Gambar 4. Uji Makrografi penampang substrat yang menunjukkan ketebalan Lapisan Tipis

Hasil menunjukkan bahwa pelapisan mengisi pori-pori, , hampir semua pori tertutup sepenuhnya, menghasilkan permukaan yang lebih halus dan mengurangi permeabilitas secara drastis. Ini menunjukkan bahwa pelapisan mengurangi jumlah dan ukuran pori-pori, meningkatkan ketahanan terhadap penetrasi cairan dan gas, serta memperbaiki sifat mekanik material berpori.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian di atas, dapat disimpulkan bahwa Proses pelapisan menggunakan metode *spin coating* dengan larutan titanium dioksida dalam pelarut etanol menghasilkan lapisan tipis pada substrat keramik korundum (alumina) yang semakin tipis seiring dengan peningkatan kecepatan rotasi alat spin coater. Ketebalan lapisan tersebut juga dipengaruhi oleh konsentrasi larutan, di mana konsentrasi yang lebih tinggi meningkatkan viskositas larutan dan menghasilkan lapisan yang lebih tebal, meskipun waktu pelapisan yang digunakan sama. Setelah proses pelapisan, terjadi penurunan signifikan pada porositas material, terutama pada lapisan yang lebih tebal, karena penutupan pori-pori yang lebih besar dan ketidakberaturan distribusi pori-pori. Penurunan porositas ini diikuti oleh penurunan nilai permeabilitas material, yang menunjukkan bahwa semakin tebal lapisan, semakin sulit fluida menembus material tersebut.

5. Daftar Pustaka

- [1] Abegunde, O. O., Akinlabi, E. T., Oladijo, O. P., Akinlabi, S., & Ude, A. U. (2019). Overview of thin film deposition techniques. In *AIMS Materials Science* (Vol. 6, Issue 2, pp. 174–199). AIMS Press.
- [2] Ramanujam, J., Bishop, D. M., Todorov, T. K., Gunawan, O., Rath, J., Nekovei, R., Artegiani, E., & Romeo, A. (2020). Flexible CIGS, CdTe and a-Si:H based thin film solar cells: A review. In *Progress in Materials Science* (Vol. 110). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.pmatsci.2019.100619>
- [3] Mustafa, H. A. M., & Jameel, D. A. (2021). Modeling and the main stages of spin coating process: A review. *Journal of Applied Science and Technology Trends*, 2(02), 119–123. <https://doi.org/10.38094/jastt203109>
- [4] Wang, Y. H., Rahman, K. H., Wu, C. C., & Chen, K. C. (2020). A review on the pathways of the improved structural characteristics and photocatalytic performance of titanium dioxide (TiO₂) thin films fabricated by the magnetron-sputtering technique. In *Catalysts* (Vol. 10, Issue 6). MDPI. <https://doi.org/10.3390/catal10060598>
- [5] Tabatabaei, S. M. J., & Fakoor, M. (2023). Investigation into effective mechanical properties of porous material produced by the additive manufacturing method. *Frattura Ed Integrità Strutturale*, 17(65), 208–223. <https://doi.org/10.3221/IGF-ESIS.65.14>
- [6] Trianah, Y., & Sani, S. (2022). *PENGARUH PENAMBAHAN SERABUT (FIBER) KELAPA SAWIT TERHADAP POROSITAS BETON*. 7.
- [7] Fadli, H., Zulrian Aldio, R., & Yulianto, D. (2020). THE EFFECT OF SILICA PELLET PRESSING TOWARDS POROSITY AND PERMEABILITY (PENGARUH PENEKANAN PELLET SILIKA TERHADAP POROSITAS DAN PERMEABILITAS). *Journal of Renewable Energy & Mechanics (REM)* E-ISSN, 04(01), 2714–621. [https://doi.org/10.25299/rem.2021.vol4\(01\).4271](https://doi.org/10.25299/rem.2021.vol4(01).4271)
- [8] Arbol, M. K., & Hendra Bahar. (2021). *Analisis Porositas*.

-
- [9] Hidayat, T. (2021). *Analisis Hasil Nilai Viskositas Dengan Metode Pencampuran Kerosin Pada Aspal Murni Penetrasi 60/70 Dengan Menggunakan Saybolt Furol*.
 - [10] Tyona, M. D. (2013). A theoritical study on spin coating technique. *Advances in Materials Research*, 2(4), 195–208. <https://doi.org/10.12989/amr.2013.2.4.195>.