

ANALISIS KUANTITATIF PORI BERDASARKAN PENGOLAHAN CITRA MENGGUNAKAN *WOLFRAM MATHEMATICA*

Yuant Tiandho

Jurusan Fisika, Universitas Bangka Belitung
Jl. Kampus Peradaban, Merawang 33172, Indonesia
Email: yuanttiandho@gmail.com

Abstract

Currently, a porous material has been extensively developed in many areas of applied science and engineering. The characteristics of porous material is most often determined by its porosity. In this paper, we present a quantitative analysis of pores in a material according to image processing methods. An micrograph from electron microscopy (SEM) was analyzed by using Wolfram Mathematica. From our study can be obtained some informations about pore percentage (porosity), pore size, ratio aspect, and distribution of pore size in the materials.

Keywords: pore, image processing, Wolfram Mathematica

Abstrak

Saat ini, material berpori telah dikembangkan secara luas di banyak bidang sains terapan dan teknik. Karakteristik dari material berpori seringkali ditentukan oleh porositasnya. Dalam makalah ini, kami menyajikan analisis pori dalam suatu material berdasarkan metode pengolahan citra. Suatu mikrograf dari mikroskopi elektron (SEM) kami analisis dengan menggunakan Wolfram Mathematica. Dari penelitian kami dapat diperoleh beberapa informasi tentang persentase pori (porositas), ukuran pori, aspek rasio, dan distribusi ukuran pori dalam material.

Kata kunci: pori, pengolahan citra, Wolfram Mathematica

1. PENDAHULUAN

Pada dasarnya, material berpori adalah berbagai jenis material padat yang memiliki pori untuk tujuan tertentu. Adanya pori dalam material dapat membuat material tersebut memiliki luas permukaan yang lebih besar [1], memiliki densitas lebih rendah [2], dan memiliki ruang kosong yang dapat ditempati atau dialiri fluida [3]. Oleh karena itu material berpori saat ini banyak dipelajari dalam berbagai bidang mulai dari teknik filtrasi, teknik konstruksi, geosains, biofisika, hingga sains material. Beberapa pemanfaatan material berpori diantaranya untuk perancah

tulang [4], katalis pada industri kimia [5], absorben suatu polutan [6], elektroda [7], divais sensor [8], dan sebagainya.

Berbagai karakteristik fisik dan kimia dari material berpori seperti permeabilitas, kuat tarik, dan konduktivitas elektrik ditentukan oleh sifat porinya [9, 10]. Sehingga pengembangan terakhir sintesis material berpori telah terfokus pada material yang dapat direkayasa ukuran pori dan distribusi porinya.

Beberapa metode yang sering digunakan untuk menganalisis pori diantaranya adalah metode BET (Brunauer, Emmet, dan Teller) [11], metode Archimedes [12], dan pengolahan citra mikrograf [13]. Pengukuran porositas menggunakan metode BET dilakukan melalui pengisian material dengan suatu gas (nitrogen, argon, CO₂, dan sebagainya) sehingga diperoleh informasi berupa luas permukaan material atau volume pori berdasarkan jumlah massa gas yang terabsorpsi. Kelemahan dari metode ini adalah dibutuhkan asumsi densitas absorbat yang konstan sepanjang sistem pori sehingga tidak dapat diterapkan pada material mikropori dan ultramikropori karena memiliki rasio luas permukaan dengan volume yang sangat tinggi. Selain itu, metode BET juga memiliki akurasi yang buruk ketika diterapkan untuk mengukur pori terbuka. Pengukuran porositas dengan metode Archimedes dilakukan berdasarkan variasi massa material dalam fluida. Akurasi dari metode ini ditentukan oleh pengurangan berat material dan sulit untuk mengestimasi densitas matriks ketika terjadi transformasi allotropik. Adapun analisis pori menggunakan pengolahan citra dilakukan berdasarkan analisis permukaan tampak lintang material. Kelemahan dari pengolahan citra adalah akurasinya sangat bergantung pada preparasi spesimen. Namun demikian, dibandingkan dengan metode lainnya, metode pengolahan citra lebih dapat diterima berdasarkan aspek reproduktifitas, keekonomisan, kesederhanaan, dan fleksibilitasnya [14]. Terlebih saat ini citra yang dihasilkan oleh mikroskop (optik atau elektron) telah dalam bentuk digital sehingga mendukung proses pengolahan citra digital selanjutnya [15].

Di dalam makalah ini kami mengembangkan metode pengolahan citra untuk material berpori menggunakan *Wolfram Mathematica*. Pengembangan ini perlu dilakukan mengingat tidak seluruh perangkat mikroskopi dilengkapi oleh sistem pengolahan citra. *Wolfram Mathematica* merupakan perangkat lunak komputasi matematik simbolik yang menyediakan dukungan mendalam pada pemrosesan dan analisis citra. Keunggulan perangkat lunak ini adalah ia menggunakan bahasa *Wolfram Language* yang telah dikenal luas sebagai bahasa pemrograman yang relatif sederhana dan mudah dipahami [16,17]. Adapun aspek analisis kuantitatif pori yang kami pelajari dalam makalah ini terdiri dari analisis presentase pori (porositas), ukuran (diameter) pori, aspek rasio pori, dan distribusi ukuran porinya.

2. METODOLOGI PENELITIAN

Citra yang kami analisis dalam makalah ini merupakan citra material karbon berpori (perbesaran 500× dan 1000×) yang disintesis oleh Tseng [18] dan material berpori TiO₂ yang disintesis oleh Zhong [19]. Seluruh citra tersebut diambil dengan menggunakan mikroskop elektron dengan perbesaran dan resolusi yang berbeda.

Untuk dapat menghitung presentase pori dalam material kami memanfaatkan adanya perbedaan warna antara pori dengan matriks material. Biasanya pori dalam material lebih gelap sedangkan matriks berwarna lebih terang. Sehingga dengan proses binerisasi dan segmentasi citra maka kita dapat melihat dengan jelas perbedaan dari pori dan matriks. Presentase pori diperoleh berdasarkan perbandingan jumlah piksel warna gelap dengan seluruh jumlah piksel dalam citra. Secara matematis dapat dituliskan sebagai,

$$\% Pori = \frac{Ngelap}{Ntotal} \quad \dots(1)$$

dimana $Ngelap$ adalah jumlah piksel warna gelap dan $Ntotal$ adalah jumlah total piksel.

Untuk dapat melakukan analisis ukuran pori, sebelumnya citra yang telah dibinerisasi diolah agar diketahui dengan jelas batas porinya. Proses ini dapat dilakukan dengan memanfaatkan kemampuan Wolfram Mathematica dalam mendeskripsikan perimeter dari suatu citra. Perimeter dideskripsikan sebagai garis batas dari kumpulan piksel gelap dengan piksel terang (juga sebaliknya). Setelah morfologi dari perimeter sesuai maka ukuran tiap pori dapat ditentukan berdasarkan perintah untuk menghitung panjang kalipernya. Dalam makalah ini menggunakan tiga jenis kaliper: panjang kaliper (diameter Feret maksimum), lebar kaliper (diameter Feret minimum) dan rata-rata kaliper. Untuk ukuran pori kami menggunakan rata-rata kaliper dan dua jenis kaliper lainnya digunakan untuk menentukan aspek rasio pori. Karena analisis citra dengan menggunakan Wolfram Mathematica dalam satuan piksel maka dibutuhkan hubungan antara skala yang tertera dalam citra dengan nilai pikselnya (piksel/satuan panjang). Setelah diperoleh informasi ukuran dari seluruh pori yang terdapat dalam citra maka data tersebut kami analisis secara statistik sehingga diperoleh ukuran pori rata-rata secara keseluruhan,

$$Ukuran\ pori = \frac{\sum_{i=1}^n MCD_i}{n} \quad \dots(2)$$

dimana MCD_i adalah kaliper rata-rata (*mean caliper diameter*) untuk pori ke- i dan n adalah jumlah pori yang terdeteksi dalam citra.

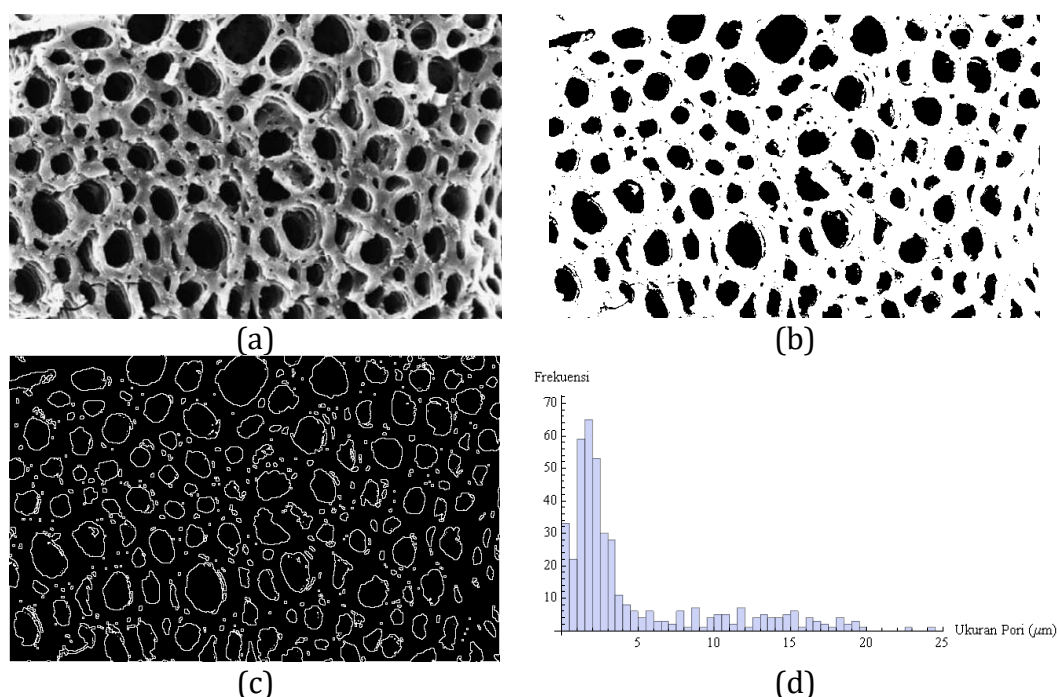
Adapun untuk menentukan aspek rasio dari pori secara rata-rata kami menggunakan perbandingan nilai diameter Feret minimum dengan diameter Feret maksimum dari keseluruhan pori,

$$AR = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{F_{min\ i}}{F_{max\ i}} \quad \dots(3)$$

dimana $F_{min\ i}$ adalah diameter Feret minimum pori ke- i dan $F_{max\ i}$ adalah diameter Feret maksimum pori ke- i . Nilai aspek rasio akan menentukan kesimetrisan pori dan nilainya berada pada rentang 0 sampai 1 dengan nilai 1 menyatakan butir bersifat simetris sempurna.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

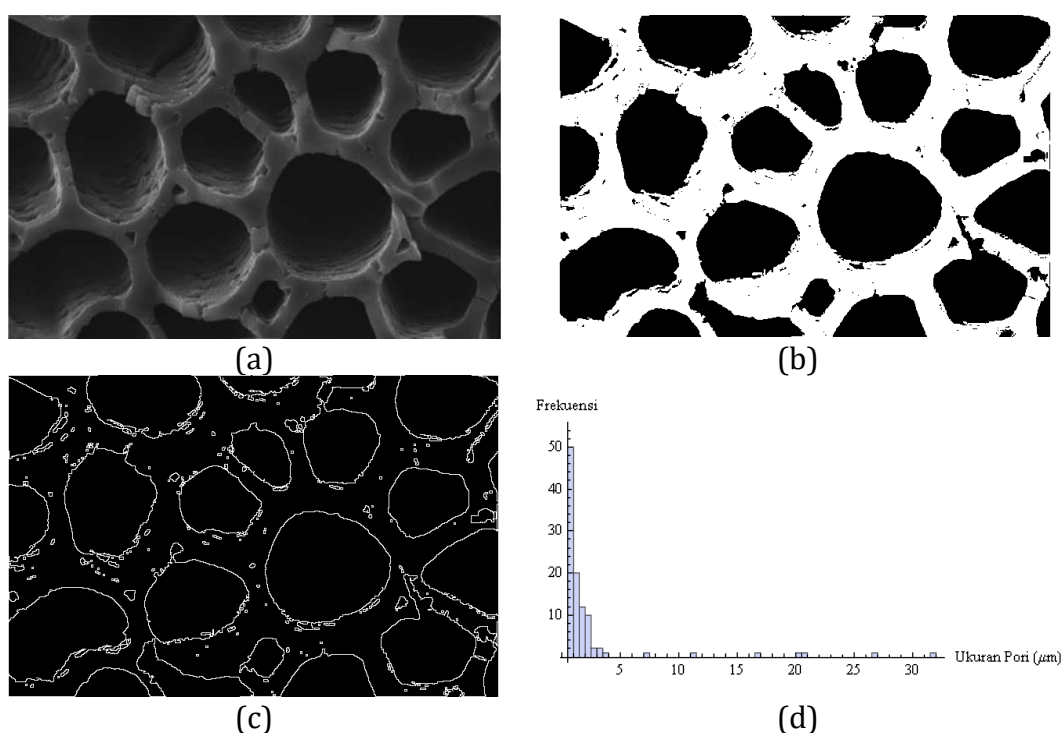
Setelah dilakukan pengolahan citra pada mikrograf karbon berpori dengan perbesaran $500\times$ maka diperoleh hasil seperti pada Gambar 1. Citra ini memiliki faktor konversi skala piksel ke μm sebesar $2,5 \text{ piksel}/\mu\text{m}$. Pada mikrograf asli (Gambar 1(a)) pori ditunjukkan oleh warna gelap dan matriks warna yang lebih terang. Setelah melalui proses binerisasi maka perbedaan antara matriks dan pori tampak semakin tajam (Gambar 1(b)). Sehingga dengan menggunakan citra tersebut, berdasarkan perbandingan jumlah piksel gelap dengan total pikselnya, dapat diketahui bahwa porositas dari sampel ini adalah $46,9\%$. Setelah dilakukan proses segmentasi citra sesuai dengan morfologi perimeter tiap pori yang terdeteksi dalam citra (Gambar 1(c)) kemudian kami menerapkan perintah untuk menghitung diameter kaliper rata-rata (*mean caliper diameter*) sehingga diperoleh informasi bahwa rata-rata ukuran pori dari citra ini adalah $4,5 \mu\text{m}$. Adapun untuk sebaran ukuran porinya ditunjukkan oleh histogram pada Gambar 1(d). Dari data histogram tampak bahwa distribusi ukuran pori tertinggi sekitar $1 \mu\text{m}$ dan kami mendeteksi ada 423 pori secara keseluruhan dalam citra ini. Dengan menggunakan perintah menghitung diameter Feret minimum dan diameter Feret maksimum maka diperoleh hasil bahwa rata-rata nilai diameter Feret tersebut secara berurutan adalah $3,61 \mu\text{m}$ dan $5,36 \mu\text{m}$. Sehingga dapat disimpulkan bahwa aspek rasionya adalah $0,67$. Secara ringkas hasil analisis citra ini dapat dilihat pada Tabel 1.



Gambar 1. (a) mikrograf elektron karbon berpori pada perbesaran $500\times$ [18], (b) hasil binerisasi, (c) morfologi perimeter, (d) histogram ukuran pori.

Untuk mendalami analisis sampel karbon berpori, kami juga melakukan analisis sampel tersebut namun untuk perbesaran $1000\times$. Hasil pengolahan citra

dari sampel ini dapat dilihat pada Gambar 2 dan hasil pengukurannya disajikan pada Tabel 1. Setelah melalui proses binerisasi (Gambar 2(b)) dapat diketahui bahwa porositas sampel berdasarkan citra ini mencapai 53%. Untuk memperoleh informasi ukuran pori maka dilakukan proses pendeskripsian morfologi perimeter tiap pori yang terdeteksi (Gambar 2(c)) kemudian dilakukan analisis panjang kaliper rata-ratanya. Pada citra ini terdapat 104 pori terdeteksi dan ukuran rata-ratanya adalah $2,4 \mu\text{m}$ (faktor konversi skala: 5 piksel/ μm). Adapun untuk distribusi ukurannya disajikan pada Gambar 2(d). Dengan menggunakan hasil perbandingan diameter Feret minimum dan diameter Feret maksimum tiap pori yang terdeteksi maka dapat disimpulkan bahwa aspek rasionya adalah 0,69.

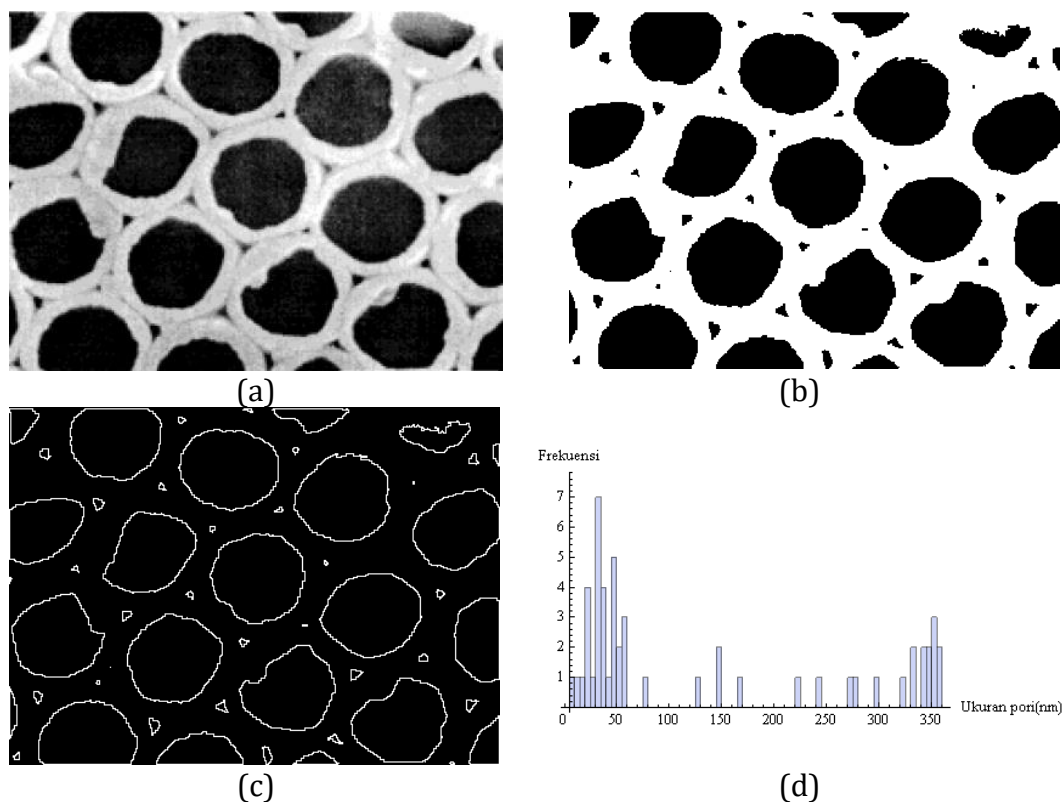


Gambar 2. (a) mikrograf elektron karbon berpori pada perbesaran $1000\times$ [18], (b) hasil binerisasi, (c) morfologi perimeter, (d) histogram ukuran pori.

Jika dibandingkan dengan hasil analisis sebelumnya maka tampak bahwa nilai porositas karbon berpori perbesaran $1000\times$ lebih besar sedangkan nilai rata-rata ukuran porinya lebih kecil. Hal ini disebabkan oleh adanya perbedaan resolusi dari kedua citra tersebut. Pada citra dengan perbesaran lebih tinggi maka resolusinya juga makin tinggi pula. Ini ditunjukkan oleh faktor konversi skala dari perbesaran $1000\times$ yang lebih tinggi. Karena resolusi yang lebih baik maka citra dengan perbesaran $1000\times$ dapat mendeteksi adanya pori-pori mikro yang sebelumnya tidak terdeteksi oleh perbesaran $500\times$ sehingga menyebabkan nilai ukuran pori rata-ratanya makin kecil. Begitu pula dengan porositasnya, karena citra tersebut dapat mengamati adanya pori yang lebih kecil maka menyebabkan jumlah pori per areanya makin tinggi. Hal ini didukung oleh data referensi yang

menyatakan bahwa karbon berpori yang telah disintesis banyak mengandung pori-pori yang berukuran sangat kecil [18].

Adapun untuk hasil pengolahan citra sampel TiO_2 berpori dapat dilihat pada Gambar 3 dan hasil pengukurannya pada Tabel 1. Pada hasil binerisasi (Gambar 3(b)) dan deskripsi morfologi perimeter (Gambar 3(c)) tampak bahwa disekitar pori-pori besar terdapat cukup banyak pori-pori mikronya. Dengan membandingkan jumlah piksel gelap dengan keseluruhan piksel diketahui bahwa porositas sampel adalah 50,1%. Setelah disesuaikan dengan faktor konversi skala 0,22 piksel/nm maka diketahui bahwa ukuran rata-rata pori yang terdeteksi (52 pori) adalah 138,6 nm dengan nilai aspek rasio mencapai 0,73.



Gambar 3. (a) mikrograf elektron TiO_2 berpori pada perbesaran $60.000\times$ [19], (b) hasil binerisasi, (c) morfologi perimeter, (d) histogram ukuran pori.

Untuk menguji keandalan metode pengukuran pori yang kami diskusikan maka kami juga mencoba menganalisis ukuran pori yang berukuran makro (kami menggunakan 8 pori terbesar). Pada analisis pori makro diperoleh ukuran rata-ratanya adalah 349,7 nm dengan aspek rasio 0,84. Perbedaan nilai aspek rasio pada analisis keseluruhan pori dengan hanya pada pori makro disebabkan oleh kesimetrian dari pori-pori itu sendiri. Hal ini dapat dilihat dengan mudah bahwa pori mikro memiliki bentuk yang tidak begitu beraturan sedangkan pori-pori makro cenderung lebih simetris dan bentuknya lebih mendekati lingkaran. Sebagai tambahan, apabila hasil ukuran pori makro dibandingkan dengan data referensi

[19] (dinyatakan bahwa pori makro berukuran sekitar 380 nm) maka dapat disimpulkan bahwa keakurasian metode ini mencapai lebih dari 92%.

Tabel 1. Hasil analisis citra dengan Wolfram Mathematica

Sampel	%Pori	Ukuran	Kesimetrian		
			F _{Min}	F _{Max}	Aspek Rasio
Karbon 500×	46,9	4,5 μm	3,61 μm	5,36 μm	0,67
Karbon 1000×	53,0	2,4 μm	1,98 μm	2,87 μm	0,69
TiO ₂ (semua)	50,1	138,6 nm	115,06 nm	156,5 nm	0,73
TiO ₂ (makro)	50,1	349,7 nm	317,21 nm	377,97 nm	0,84

4. SIMPULAN

Dengan menggunakan perangkat lunak Wolfram Mathematica dapat dilakukan analisis citra dari suatu material berpori. Beberapa aspek yang dapat dikaji antara lain persentasi pori, ukuran pori, aspek rasio kesimetrian pori, dan sebaran ukuran porinya. Melalui perbandingan analisis pada dua citra sejenis dengan perbesaran berbeda dapat diketahui bahwa akurasi analisis pori dengan pengolahan citra bergantung pada resolusi citra itu sendiri. Semakin tinggi perbesarannya maka makin banyak pori mikro yang dapat dideteksi. Sehingga citra dengan perbesaran yang lebih tinggi akan dapat menghasilkan akurasi yang semakin tinggi. Selain itu, berdasarkan perbandingan antara ukuran pori referensi dengan ukuran pori yang diperoleh dalam penelitian ini, dapat disimpulkan bahwa metode pengolahan citra dengan Wolfram Mathematica memiliki tingkat ketelitian yang cukup baik.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] J. Escoto, Y. Chiang, K. Wu and Y. Yamauchi, **Recent progress in mesoporous titania materials: adjusting morphology for innovative applications**, *Science and Technology of Advanced Materials*, vol. 13, pp. 013003(1) - (9), 2012.
- [2] Y. Wu, C. Li, H. Liang, J. Chen and S. Yu, **Ultralight, flexible, and fire-resistant carbon nanofiber aerogels from bacterial cellulose**, *Angewandte Chemie*, vol. 125, pp. 2997-3001, 2013.
- [3] X. Yao, Y. Hu, A. Grinthal, T. Wong, L. Mahadevan and J. Aizenberg, **Adaptive fluid-infused porous films with tunable transparency and wettability**, *Nature Materials*, vol. 12, pp. 529-534, 2013.
- [4] F. Afriani, K. Dahlan, S. Nikmatin, and O. Zuas, **Alginate affecting the characteristics of porous beta-TCP/alginate composite scaffolds**, *Journal of Optoelectronics and Biomedical Materials*, vol. 7, no. 3, pp. 67-76, 2015.
- [5] C. Parlett, P. Wilson and A. Lee, **Hierarchical porous materials: catalytic applications**, *Chemical Society Reviews*, vol. 42, pp. 3876-3898, 2013.

- [6] L. Li, B. Li, L. Wu, X. Zhao and J. Zhang, "**Magnetic, superhydrophobic and durable silicone sponges and their application in removal of organic pollutants from water,**" *Chemical Communications*, vol. 50, pp. 7831-7833, 2014.
- [7] L. Chen, X. Zhang, H. Liang, M. Kong, Q. Guang, P. Chen, Z. Wu and S. Yu, "**Synthesis of nitrogen-doped porous carbon nanofibers as an efficient electrode material for supercapacitors,**" *ACS Nano*, vol. 6, no. 8, pp. 7092-7102, 2012.
- [8] E. Ringgaard, F. Lautzenhiser, L. Bierregaard, T. Zawada and E. Molz, "**Development of porous piezoceramics for medical and sensor applications,**" *Materials*, vol. 8, no. 12, pp. 8877-8889, 2015.
- [9] J. Feng, R. Zhang, L. Gong, Y. Li, W. Cao and X. Cheng, "**Development of porous fly ash-based geopolymer with low thermal conductivity,**" *Materials & Design*, vol. 65, pp. 529-533, 2015.
- [10] R. Ferraro and A. Nanni, "**Effect of white rice husk ash in strength, porosity, conductivity, and corrosion resistance of white concrete,**" *Construction and Building Materials*, vol. 31, pp. 220-225, 2012.
- [11] P. Goodman, H. Li, Y. Gao, Y. Lu, J. Stenger-Smith and J. Redepenning, "**Preparation and characterization of high surface area, high porosity carbon monoliths from pyrolyzed bovine bone and their performance as supercapacitor electrodes,**" *Carbon*, vol. 55, pp. 291-298, 2013.
- [12] A. Moradi, S. Pramanik, F. Ataollahi, T. Kamarul and B. Murphy, "**Archimedes revisited: computer assisted micro-volumetric modification of the liquid displacement method for porosity measurement of highly porous light materials,**" *Analytical Methods*, vol. 6, pp. 4396-4401, 2014.
- [13] P. Elia, E. Nativ-Roth, Y. Zeiri and Z. Porat, "**Determination of the average pore-size and total porosity in porous silicon layers by image processing of SEM micrographs,**" *Microporous and Mesoporous Materials*, vol. 225, pp. 465-471, 2016.
- [14] H. Du, J. Shin and S. Lee, "**Study on porosity of plasma-sprayed coatings by digital image analysis method,**" *Journal of Thermal Spray Technology*, vol. 14, no. 4, pp. 453-461, 2005.
- [15] M. Ardisasmita, "**Pengolahan citra digital dan analisis kuantitatif dalam karakterisasi citra mikroskopik,**" *J. Mikroskopi dan Mikroanalisis*, vol. 3, no. 1, pp. 25-29, 2000.
- [16] S. Wolfram, *The Mathematica Book (5th ed.)*, USA: Wolfram Media, 2003.
- [17] S. McCaslin and A. Kesireddy, "**Metallographic image processing tools using mathematica manipulate,**" in *Innovations and Advances in Computing, Informatics, System Sciences, Networking and Engineering*, Switzerland, Springer International Publishing, 2015, pp. 357-363.

- [18] R. Tseng and S. Tseng, "**Pore structure and adsorption performance of the KOH-activated carbons prepared from corncob,**" *Journal of Colloid and Interface Science*, vol. 287, pp. 428-437, 2005.
- [19] Z. Zhong, Y. Yin, B. Gates and Y. Xia, "**Preparation of mesoscale hollow spheres of TiO₂ and SnO₂ by templating against crystalline arrays of polystyrene beads,**" *Advanced Materials*, vol. 12, no. 3, pp. 206-209, 2000.