

PREPARASI DAN MODIFIKASI SIFAT ADHESI PERMUKAAN *METAL FOAM* UNTUK MENINGKATKAN KARAKTERISTIK ADHESI

Syahrul Humaidi^{1,*}, Didy Suharlan²

¹Program Pascasarjana (Fisika), FMIPA, Universitas Sumatera Utara, Jl. Bioteknologi No. 1 Medan 20155, Indonesia

²Program Studi Teknik Mesin, Politeknik Tanjungbalai, Jl. Sei Raja, Tualang Raso, Tanjungbalai 21342, Indonesia

*Email: syahrul1@usu.ac.id

ARTICLE INFO

Article history:

Received date:

16 May 2024

Received in revised form date:

5 June 2024

Accepted date

5 June 2024

Available online date

20 June 2024

Abstract

The surface of the metal foam has been successfully modified to achieve a high adhesion surface with a contact angle of 112° on the first day of observation. The surface modification of the metal foam was carried out through a cleaning procedure and a simple spraying technique using Super Nano Hydrophobic Liquid Repellent. The main objective of this research is to explore the impact of the hydrophobic coating on the metal foam surface on its capillarity characteristics. The metal foam coated with the hydrophobic layer absorbed 0.03 grams of water in the first 10 seconds, and this condition continued for the next 50 seconds. After 90 seconds, the capillary pumping reached saturation, where the amount of water filling the capillary gaps could no longer move because it had reached its maximum. This research also concluded that the smaller the contact angle of the metal foam, the higher the capillary pressure.

Keywords: *Hydrophobic coating, surface modification, metal foam.*

Kata kunci:

Lapisan Hidrofobik

Modifikasi Permukaan

Metal Foam

Abstrak

Permukaan *metal foam* telah berhasil dimodifikasi sehingga mendapatkan permukaan dengan sifat adhesi yang tinggi dengan sudut kontak sebesar 112° pada hari pertama pengamatan. Modifikasi permukaan *metal foam* dilakukan melalui prosedur pembersihan dan teknik penyemprotan sederhana menggunakan Super Nano hydrophobic Liquid Repellent. Tujuan utama dari penelitian ini adalah untuk mengeksplorasi pengaruh lapisan hidrofobik pada permukaan *metal foam* terhadap karakteristik kapilaritas yang dimiliki. *Metal foam* yang dilapisi dengan lapisan hidrofobik menyerap 0,03 gr air dalam 10 detik pertama, kondisi ini berlanjut untuk 50 detik berikutnya dan setelah 90 detik, pemompaan kapiler mencapai titik saturasi di mana jumlah air yang telah mengisi celah kapiler tidak dapat bergerak lagi karena jumlahnya telah mencapai maksimum. Dari penelitian ini juga diperoleh kesimpulan bahwa semakin kecil sudut kontak *metal foam*, maka semakin meningkatkan tekanan kapilernya.

1. PENDAHULUAN

Dalam beberapa tahun terakhir, komponen elektronik dan mesin telah menjadi bagian tak terpisahkan dari perkembangan teknologi. Semua jenis operasi elektronik dan mekanik akan menghasilkan energi yang digunakan oleh manusia dalam menjalankan aktivitas sehari-hari. Mengacu pada konsep konservasi energi, semua bentuk energi yang telah dikonversi akan menghasilkan energi dalam bentuk lain yang jumlah totalnya sama dengan total energi awal meskipun tidak sepenuhnya berubah menjadi bentuk energi yang diharapkan. Salah satu energi yang sering menjadi hasil dari konversi ini adalah energi panas, karena energi ini adalah energi intrinsik yang banyak tersebar di alam. Energi panas

biasanya merupakan produk sampingan dari proses operasional, dan bukan produk yang diharapkan. Namun, energi panas juga memiliki potensi besar untuk dikonversi menjadi energi lain yang lebih menguntungkan. Jika energi panas yang dihasilkan dari proses elektronik atau mekanik ini adalah produk sampingan, maka tentu saja energi tersebut perlu disalurkan dan dilepaskan ke udara terbuka agar tidak mengganggu operasi kinerja yang sedang berlangsung [1], [2]. Karena, jika energi panas yang dihasilkan meningkatkan suhu hingga batas maksimum, maka akan menyebabkan kegagalan sistem total.

Penemuan pipa panas adalah salah satu terobosan yang dilakukan oleh para peneliti di dunia dalam menangani masalah termal ini. Perangkat ini berukuran kecil dengan kemampuan untuk mengangkut sejumlah besar energi panas, lebih lanjut, perangkat transfer panas dua fase ini memiliki konduktivitas yang sangat tinggi. Perubahan fase dalam perangkat ini terjadi dengan sangat cepat dan efektif, dari cairan menjadi uap di evaporator dan dari uap menjadi cairan di kondensor [3]. Pipa panas telah diterapkan dalam berbagai aplikasi teknologi misalnya, sebagai pendingin perangkat elektronik [4], komponen kedirgantaraan [5], pompa panas dan sistem Pendingin CPU [6], pemanas surya [7], diode pemancar cahaya, dan kontrol termal dua fase. Selain itu, berbagai jenis pipa panas telah dikembangkan, misalnya, pipa panas lurus, pipa panas loop [8], dan pipa panas ultra tipis [9]. Salah satu komponen dalam pipa panas yang berperan penting dalam menentukan kinerjanya adalah struktur sumbu yang berfungsi sebagai media untuk aliran fluida kerja dalam mentransfer partikel panas ke titik-titik tertentu. Struktur sumbu yang ideal harus memiliki karakteristik unggul dalam hal bahan dan sifat fisik, misalnya harus memiliki sudut kontak yang kecil dengan air atau memiliki adhesi yang baik terhadap air untuk memaksimalkan kinerja kapiler. Selain itu, struktur ini juga harus memiliki resistansi termal rendah dan konduktivitas termal tinggi. Bahan yang memiliki keunggulan di atas diperlukan untuk diterapkan sebagai struktur sumbu pada pipa panas untuk memaksimalkan kinerjanya dalam menyampaikan dan menyerap panas sambil mempertahankan stabilitas suhu pada titik panas.

Metal foam adalah salah satu bahan yang saat ini mendapat perhatian tinggi dari para peneliti di dunia karena sifat porositasnya yang tinggi sehingga mendukung distribusi fluida dan panas yang cepat dan optimal. Saat ini, *metal foam* tersedia dalam bentuk komersial karena penggunaannya yang luas yang telah mencapai kebutuhan rumah tangga, misalnya untuk peredam suara dinding ruangan tertentu [10]. Selain itu, *metal foam* juga telah banyak digunakan di bidang ortopedi, otomotif, dan penyerap energi dalam industri manufaktur. Salah satu sifat penyerapan energi panas yang baik dari bahan ini membuatnya menjadi bahan kandidat yang menjanjikan ketika diterapkan sebagai struktur sumbu untuk pipa panas. Berbagai penelitian tentang penggunaan *metal foam* sebagai struktur sumbu dalam pipa panas telah dilakukan untuk menganalisis kinerjanya sebelum dan sesudah perlakuan modifikasi seperti perbedaan fluks panas yang diterapkan [9], perbedaan pori per inci (PPI) dan pelapisan dengan bahan super hidrofobik [11]. Selain itu, Shi dan koleganya pada tahun 2020 juga telah melakukan bukti ilmiah mengenai metode berbeda dan modifikasi kimia dapat menghasilkan variasi dalam sifat adhesi *metal foam* sehingga menawarkan kinerja pipa panas yang berbeda. *Metal foam* dengan 30 PPI telah dianalisis kemampuannya dengan memodifikasi lapisan permukaan menggunakan lapisan hidrofobik, dan spesifikasi 15 PPI saat ini masih belum dipelajari mengenai karakteristik bahan dan sifat fisiknya. Dalam penelitian ini, sampel *metal foam* akan dipreparasi dan dilapisi dengan cairan super hidrofobik 3 lapis untuk menganalisis pengaruhnya terhadap sifat fisik dan karakteristik bahan. Pengujian fisik dan karakterisasi bahan *metal foam* diharapkan dapat memberikan wawasan ilmiah dasar sebagai referensi untuk aplikasi sebagai bahan struktur sumbu dalam pipa panas. Kebaruan dari penelitian ini adalah memahami secara mendalam bagaimana tingkat adhesi permukaan *metal foam* dapat mempengaruhi kapilaritas yang dimilikinya.

2. METODE PENELITIAN

Metal foam yang digunakan dalam penelitian ini adalah merk Racemat BV tipe NC1116 dengan spesifikasi teknis secara detail disajikan pada Tabel 1. Aseton merk Sigmaaldrich 1.00014.1011 for analysis EMSURE® ACS,ISO,Reag. Ph Eur digunakan sebagai pembersih *metal foam* sebelum diberi perlakuan pelapisan. Untuk pelapisan *metal foam*, Super Nano hydrophobic Liquid Repellent merk NoWet 400 ml digunakan untuk memodifikasi sifat adhesif pada permukaannya.

Tabel 1. Spesifikasi teknis pabrikan dari *metal foam* NC1116 Racemat BV

Parameter	Nilai
Pori Per Inci (PPI)	15
Diameter rata-rata (mm)	1,4
Massa jenis rata-rata (gr/cm ³)	10
Porositas (%)	92,2

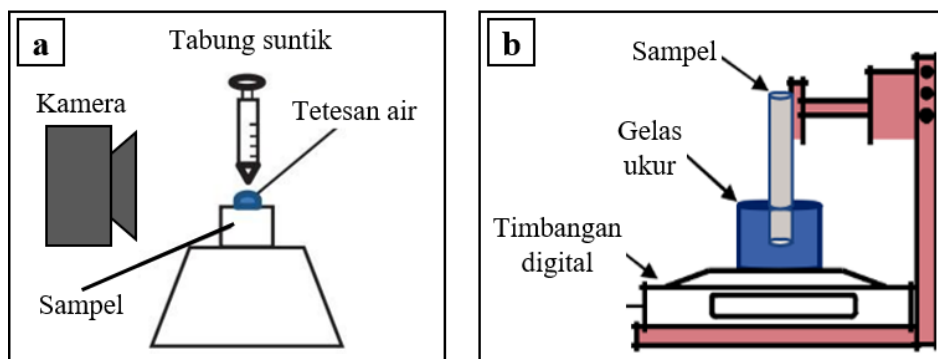
Sebanyak 2 buah sampel *metal foam* dipreparasi dengan ukuran 32,7 mm, lebar 8,2 mm, dan tinggi 7,3 mm. Kemudian, kedua sampel dihaluskan menggunakan kertas amplas, lalu direndam di dalam cairan aseton selama 20 menit. Tujuan dari perendaman ini adalah untuk membersihkan dan menghilangkan kotoran yang menempel pada sampel. Setelah itu, kedua sampel dikeringkan di dalam oven pada suhu 110 °C selama 15 menit dan dibiarkan hingga temperatur sampel mencapai suhu ruang. Selanjutnya, salah satu sampel *metal foam* dilapisi cairan Super Nano hydrophobic Liquid Repellent dengan metode penyemprotan manual hingga ke seluruh permukaan sampel, kemudian sampel ini disebut sebagai sampel dengan lapisan hidropobik. Sampel kontrol yang tidak diberi perlakuan pelapisan dengan cairan di atas, disebutkan sebagai sampel dengan lapisan hidrofilik. Penyemprotan dilakukan secara berulang sebanyak tiga kali pengulangan dengan waktu jeda selama 20 menit untuk setiap penyemprotan berikutnya.

Untuk memastikan bahwa terdapat kesamaan spesifikasi yang disediakan pabrikan sampel dengan hasil yang sebenarnya, beberapa karakterisasi dilakukan yaitu sifat kristal menggunakan alat *X-Ray Diffraction*, jumlah pori per inci dianalisa menggunakan mikroskop optik 3D dengan bantuan ImageJ, serta porositas sampel *metal foam* yang dihitung menggunakan persamaan 1, dimana m_k adalah massa kering, m_s adalah massa saturasi/jenuh setelah direndam dan m_a adalah massa sampel di dalam air.

$$P = \frac{m_s - m_k}{m_s - m_a} \times 100 \% \quad (1)$$

Setelah sampel diberi perlakuan penyemprotan dengan Super Nano hydrophobic Liquid Repellent, morfologi permukaan *metal foam* diamati menggunakan *scanning electron microscope* (SEM) dan dianalisa menggunakan aplikasi ImageJ, sudut kontak setiap sampel diamati pada hari pertama, ke-5, ke-10 dan ke-15 dengan skema pengujian yang ditunjukkan pada Gambar 1a, selanjutnya pengujian kapilaritas dilakukan terhadap kedua sampel pada suhu ruangan (25 °C) dengan skema pengujian seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1b. Untuk menentukan tekanan kapiler yang ideal pada metal foam 15 PPI terhadap sudut kontak yang terbentuk dapat menggunakan persamaan 2.

$$P_c = \frac{2\gamma \cos\theta}{r} \quad (2)$$



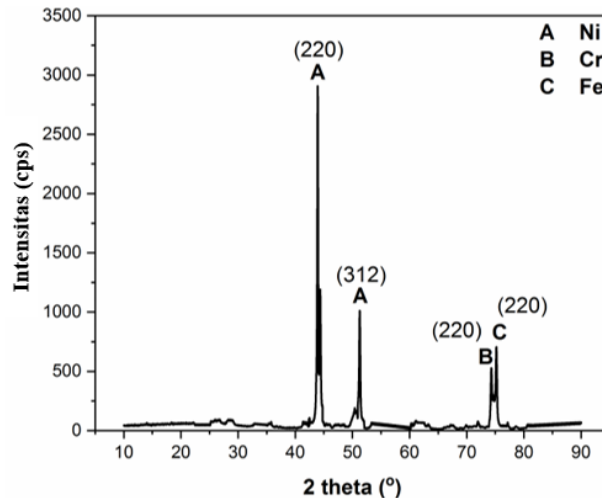
Gambar 1. Skema pengamatan dan pengukuran sudut kontak (a), dan pengujian kapilaritas *metal foam* (b).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Sifat Kristal

Struktur kristal diidentifikasi melalui teknik XRD berdasarkan pola difraksi yang terbentuk. Selain itu, berbagai parameter kisi juga dapat diamati melalui teknik ini. Spektra XRD dari *metal foam* ditunjukkan pada Gambar 2. *Metal foam* memiliki kristalinitas yang baik karena ketajaman puncak difraksi dengan intensitas tinggi dalam pola difraksi [12]. Berbagai puncak diamati pada 2 theta yaitu pada 43,9; 51,23;

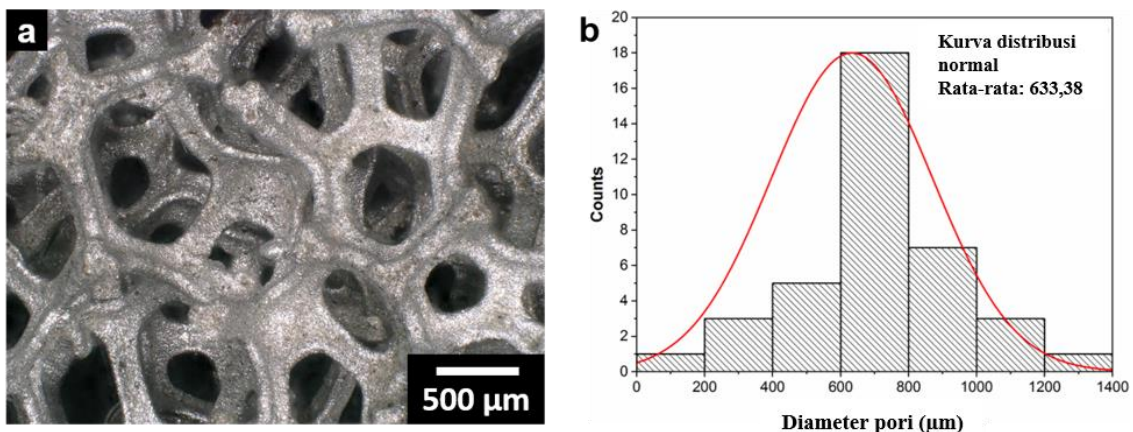
74,41 dan 75,39° yang sesuai dengan indeks Miller (220), (312) menunjukkan fase kristal nikel (Ni), (220) menunjukkan fase kromium (Cr), dan (220) menunjukkan fase kristal besi (Fe). Selain itu, ini menunjukkan bahwa struktur kristal *metal foam* memiliki sistem austenit atau struktur kristal kubus berpusat muka (FCC) yang memiliki parameter kisi $a=b=c$ dengan sudut $\alpha=\beta=\gamma=90^\circ$. Sistem ini adalah sistem kristal paling sederhana yang sangat sering ditemukan pada mineral logam [13].



Gambar 2. Pola difraksi XRD sampel *metal foam*

3.2. Struktur Pori dan Porositas

Gambar 3a dan 3b menunjukkan gambar morfologi tiga dimensi dari *metal foam* dan distribusi ukuran porinya. Berdasarkan analisis menggunakan aplikasi ImageJ, diameter rata-rata pori adalah 633,38 μm dengan total 15 pori per inci (PPI). Hasil pengukuran ini sesuai dengan penelitian sebelumnya [15] di mana peningkatan jumlah pori dalam bidang *metal foam* dengan ukuran yang sama menghasilkan ukuran pori yang lebih kecil. Namun, distribusi ukuran pori menunjukkan adanya variasi ukuran. Melalui pendekatan metode Gauss, distribusi ukuran pori pada sampel *metal foam* menunjukkan pola distribusi normal. Ini dapat diartikan bahwa setengah dari total ukuran pori *metal foam* memiliki nilai yang lebih kecil dari ukuran pori rata-rata, sedangkan setengah lainnya memiliki ukuran yang lebih besar. Semakin besar ukuran pori menyebabkan penurunan tekanan kapiler cairan, hal ini dapat mengurangi performansi termal dari pipa panas ketika *metal foam* (15 PPI) diaplikasikan ke bidang penghantaran panas seperti menjadi struktur sumbu (*wick structure*) pada pipa panas (*heat pipe*).



Gambar 3. (a) Morfologi 3 dimensi sampel *metal foam* and (b) Distribusi diameter pori

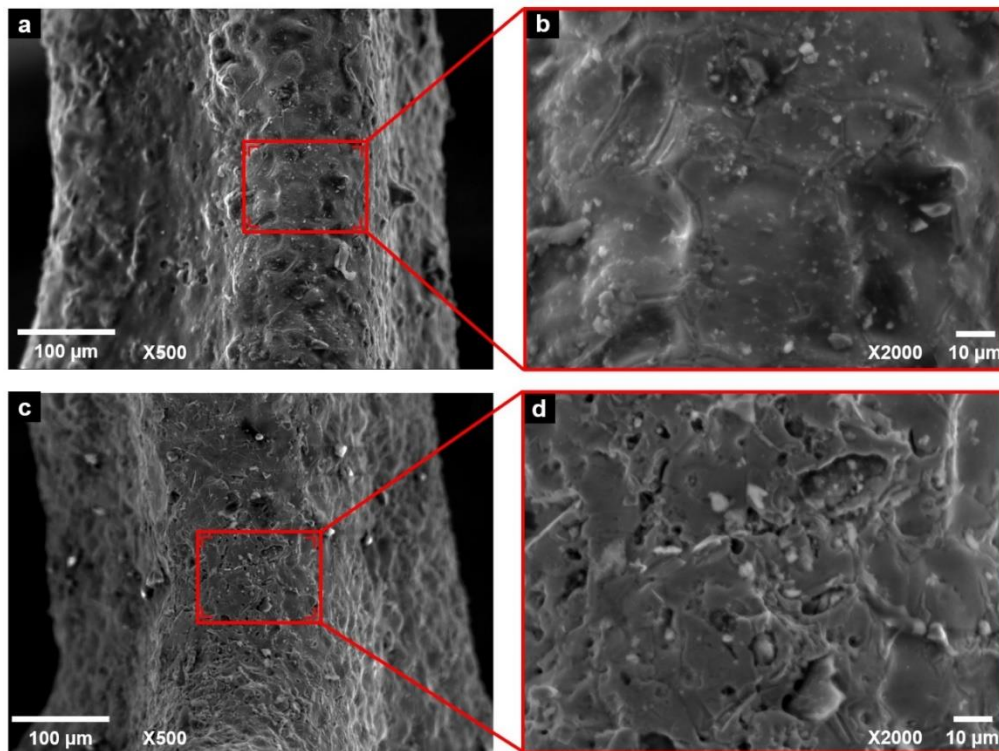
Tabel 2 menyajikan nilai porositas dan jumlah pori per inci dalam penelitian ini dan penelitian sebelumnya sebagai perbandingan. Dari hasil pengukuran jumlah pori per inci serta nilai porositas sampel *metal foam*, terlihat bahwa hasil eksperimen pada penelitian ini menunjukkan hasil yang cukup sama dengan spesifikasi yang diberikan oleh pabrikan.

Tabel 2. Porositas dan jumlah pori per inci beberapa sampel *metal foam*

No.	Sampel	Pori per inci (PPI)	Porositas (%)	Sumber
1	<i>Metal foam</i> NC1116	15	91,6	Penelitian ini
2	<i>Stainless steel foam</i>	30	92	[16]
3	<i>Aluminium foam</i>	10	88	[17]
4	<i>Copper foam</i>	15	95	[18]
5	<i>Copper foam</i>	35	97	[18]

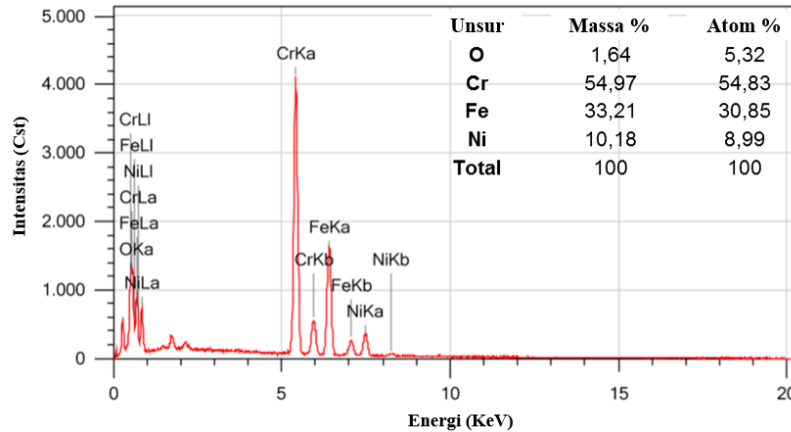
3.3. Analisis Morfologi Permukaan dan Komposisi Unsur

Gambar 4 menunjukkan citra SEM dari sampel dengan lapisan hidrofilik dan dengan lapisan hidrofobik. Seperti yang dapat dilihat melalui pembesaran 500 kali, sampel dengan lapisan hidrofilik memiliki distribusi pori butir yang cukup merata. Selain itu, melalui pembesaran 2000 kali, terlihat bahwa permukaan padat lebih halus dan bersih. Situasi ini agak berbeda dengan lapisan hidrofobik dengan pembesaran yang sama, karena permukaan butiran terlihat tertutup dengan butiran lain yang menempel di permukaan. Lapisan hidrofobik pada permukaan *metal foam* meningkatkan tingkat kekasaran sehingga morfologinya terlihat kasar dibandingkan dengan *metal foam* hidrofilik. Faktor kekasaran permukaan adalah fungsi dari dimensi fisik yang dapat meningkatkan luas permukaan sehingga terjadi perubahan bertahap dalam kimia permukaan *metal foam*, sehingga tingkat daya basahnya berkurang [19], [20].



Gambar 4. Morfologi SEM: (a) *Metal foam* dengan lapisan hidrofilik (X500), (b) *Metal foam* dengan lapisan hidrofilik (X2000), (c) *Metal foam* dengan lapisan hidrofobik (X500), and (d) *Metal foam* dengan lapisan hidrofobik (X2000)

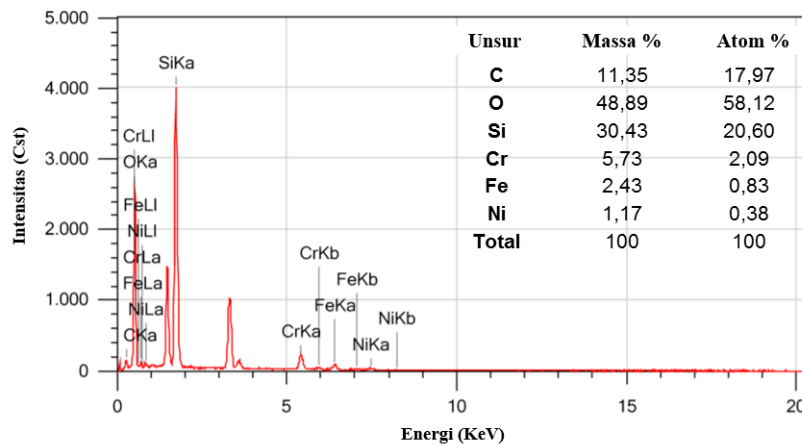
Porositas tinggi pada sampel *metal foam* adalah karakteristik yang tidak dimiliki oleh jenis material lainnya [21]. Porositas tinggi mendukung penyediaan permukaan aktif yang optimal. Porositas ini memainkan peran yang sangat penting dalam mendukung distribusi fluida, sehingga kapilaritas yang terjadi di celah pori meningkat. Hasil penelitian yang dilakukan oleh Shin dan rekan-rekannya pada tahun 2018 menyatakan bahwa *metal foam* memiliki volume udara yang besar dibandingkan dengan material lainnya sehingga kandungan logam dasar hanya ada pada simpul pori [22].



Gambar 5. Spektra EDX *metal foam* dengan lapisan hidrofilik

Gambar 5 dan 6 menunjukkan spektra EDX yang memberikan gambaran tentang elemen-elemen penyusun *metal foam* dari lapisan hidrofilik dan hidrofobik, masing-masing. Sampel *metal foam* hidrofilik didominasi oleh elemen kromium (Cr), besi (Fe), dan nikel (Ni). Namun, elemen kromium tetap menempati urutan tertinggi dalam hal kandungan dominan dari seluruh titik spektral. Lapisan hidrofobik menghasilkan elemen silikon (Si) dalam *metal foam*. Lapisan hidrofobik terbuat dari polimer khusus yang mungkin mengandung atom oksigen sehingga terperangkap dengan atom utama dari elemen penyusun *metal foam* [23].

Penelitian oleh Brennan dan rekan-rekannya menyatakan bahwa lapisan aditif pada permukaan *metal foam* menjebak molekul oksigen yang masuk ke bagian dalam permukaan karena mengalami proses katalisis saat bereaksi dengan lapisan aditif katalis [24]. Namun, hasil ini masih perlu diselidiki lebih lanjut mengingat lapisan hidrofobik memiliki sifat tidak mudah menguap sehingga kandungan beberapa atom kimia akan bergantung pada waktu. Ini karena semakin lama *metal foam* dengan lapisan hidrofobik dibiarkan di permukaannya, semakin besar kemungkinan akan mengalami reaksi kimia lain di permukaannya.



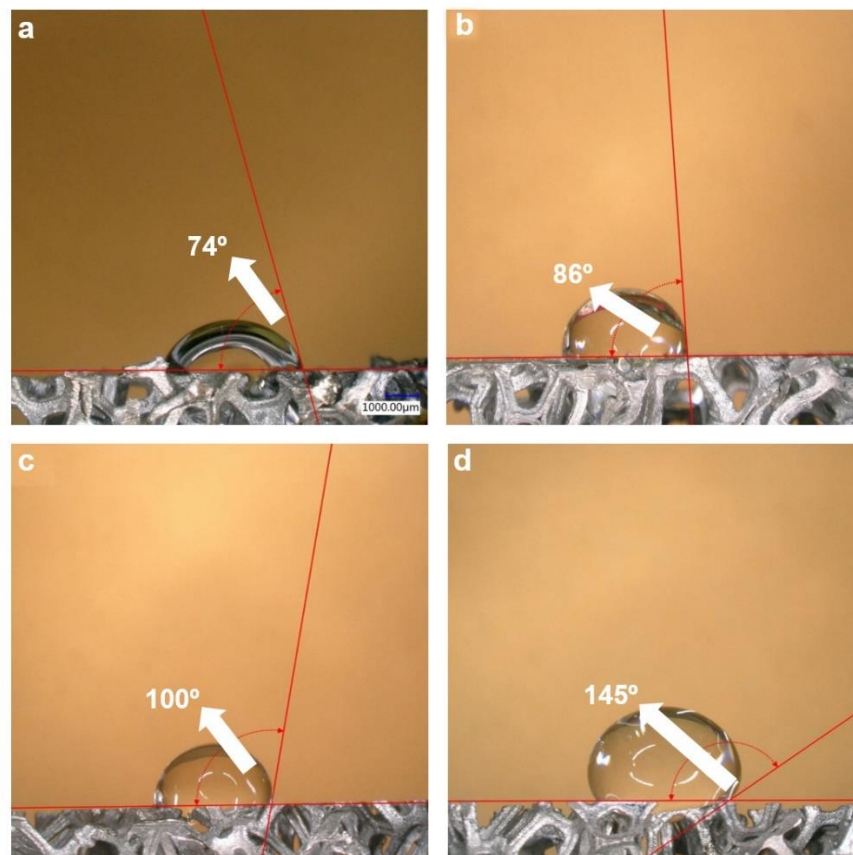
Gambar 6. Spektra EDX *metal foam* dengan lapisan hidrofobik

3.4. Sudut Kontak

Uji sudut kontak dilakukan untuk menentukan kecenderungan sampel *metal foam* ketika permukaannya bersentuhan langsung dengan air sehingga dapat diidentifikasi sifat adhesi dari *metal foam*. Sudut kontak juga dapat digunakan untuk memeriksa kualitas permukaan sampel *metal foam* yang telah dilapisi dengan material pelapis. Ada empat kemungkinan yang akan terjadi dalam kondisi ini, yaitu hidrofobik, hidrofilik, super hidrofobik atau super hidrofilik. Perilaku tetesan air pada permukaan *metal foam* ditunjukkan pada Gambar 7. *Metal foam* tanpa lapisan hidrofobik menunjukkan sifat hidrofilik pada hari pertama hingga hari ke-5, sementara dari hari ke-10 hingga hari ke-15 permukaan *metal foam* bersifat hidrofobik. Gambar 8 menunjukkan sudut kontak pada permukaan *metal foam* dengan lapisan

hidrofobik. Dari hari pertama hingga hari ke-15, permukaan *metal foam* bersifat hidrofobik, bahkan pada hari ke-15 dapat dikategorikan sebagai super hidrofobik.

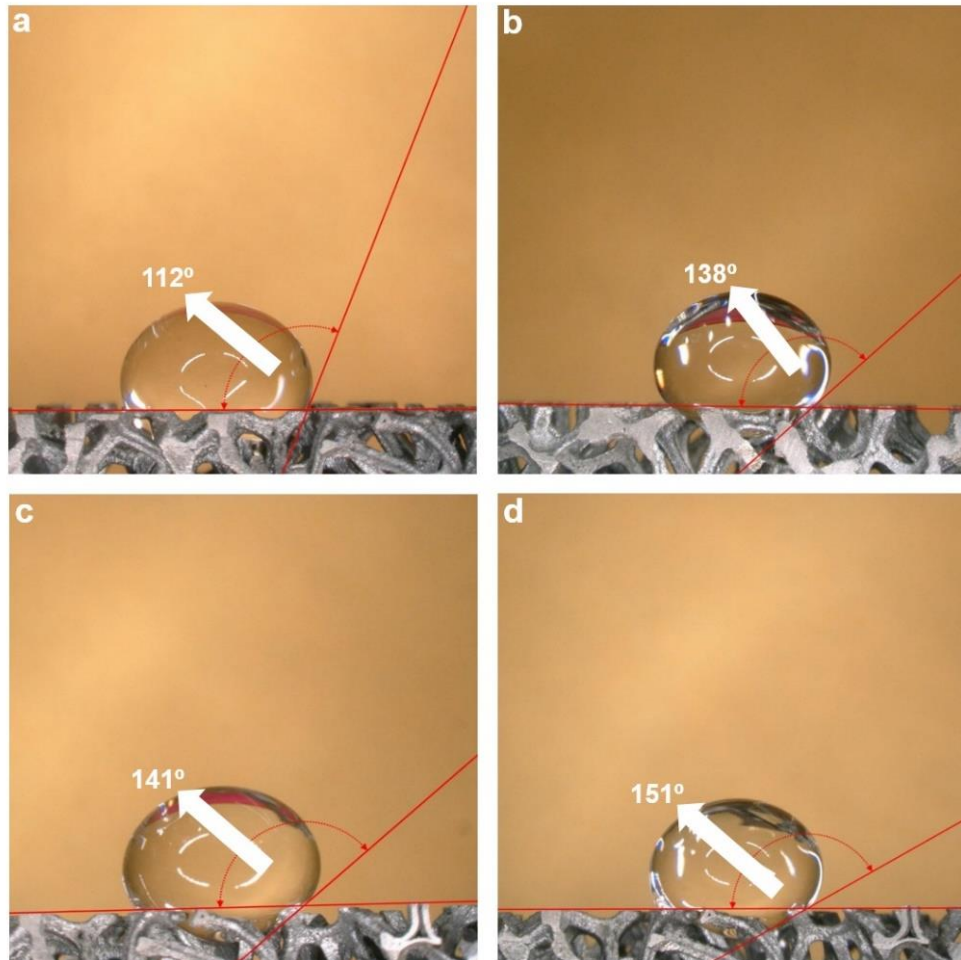
Daya basah *metal foam* hidrofilik lebih stabil dibandingkan dengan sampel dengan lapisan hidrofobik. Hal ini menunjukkan bahwa seberapa banyak cairan, dalam hal ini molekul air, dapat menyebar di atas permukaan sampel ditentukan oleh gaya antarmolekul antara permukaan dan cairan. Berdasarkan analisis sifat fisik kedua sampel, dapat dipastikan bahwa sampel *metal foam* hidrofilik memiliki tingkat kapilaritas yang paling optimal dan didukung oleh karakteristik hidrofiliknya dengan sudut kontak pada hari pertama sebesar 74° , sehingga memungkinkan untuk digunakan sebagai struktur sumbu dalam pipa panas [25], [26].



Gambar 7. Sudut kontak *metal foam* dengan lapisan hidrofilik hari 1 (a), hari 5 (b), hari 10 (c) dan hari 15 (d)

Gambar 8 menunjukkan sudut kontak antara air dan permukaan *metal foam* hidrofilik selama rentang waktu dari hari pertama hingga hari ke-15. Pada hari pertama hingga hari ke-5, *metal foam* hidrofilik memiliki sudut kontak kurang dari 90° , pada hari ke-10 hingga hari ke-15 tingkat adhesi menurun, ini ditunjukkan oleh sudut kontak yang diukur melebihi 90° . Fenomena ini dapat dikaitkan dengan cairan aseton yang sebelumnya membasahi sampel dalam proses preparasi. Kehadiran cairan aseton membantu mendukung ikatan tarik menarik antara partikel *metal foam* dan air, namun seiring waktu, cairan aseton menguap dan menghilang sehingga gaya tarik antara partikel *metal foam* dan air berkurang. Kondisi ini tentu tidak diharapkan untuk material yang diaplikasikan sebagai struktur sumbu pada pipa panas yang harus memiliki adhesi yang baik terhadap fluida kerja untuk meningkatkan kinerjanya.

Sudut kontak antara air dan permukaan *metal foam* dengan lapisan hidrofobik selama rentang waktu dari hari pertama hingga hari ke-15 ditunjukkan dalam Gambar 8. *Metal foam* dengan lapisan hidrofobik menunjukkan sifat hidrofobik sejak hari pertama pengukuran sudut kontak, dan sudut kontak meningkat pada hari berikutnya hingga hari ke-15. Lapisan hidrofobik menyebabkan kekasaran permukaan *metal foam* meningkat, sehingga memengaruhi sifat adhesinya. Dalam aplikasi pipa panas struktur sumbu, *metal foam* dengan sudut kontak rendah akan mendukung proses transfer panas yang baik karena karakteristik adhesinya, sehingga daya tarik antara fluida dan *metal foam* lebih tinggi daripada partikel fluida lainnya [27].



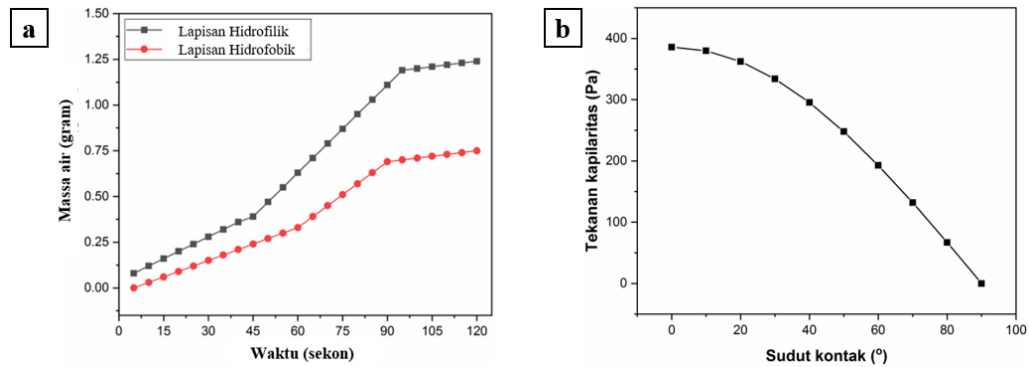
Gambar 8. Sudut kontak *metal foam* dengan lapisan hidrofobik hari 1 (a), hari 5 (b), hari 10 (c) dan hari 15 (d)

3.5. Analisis Kapilaritas

Grafik hubungan antara massa air destilasi yang mengalir dalam struktur kapiler *metal foam* dan interval waktu yang terjadi ditunjukkan dalam Gambar 9a. Pengukuran pemompaan kapiler dimulai segera setelah bagian bawah sampel menyentuh permukaan air destilasi. *Metal foam* tanpa lapisan hidrofobik menyerap 0,12 gr air dalam 10 detik pertama dan stabil untuk 35 detik berikutnya. Setelah 90 detik, saturasi kapiler ditunjukkan oleh penyerapan air maksimum. Sedangkan, *metal foam* hidrofobik menyerap 0,03 gr akuades pada 10 detik pertama, kondisi ini terus berlangsung hingga 50 detik berikutnya dan setelah 90 detik, pemompaan kapiler mencapai saturasi. Lapisan super hidrofobik pada *metal foam* menghambat tingkat kapilaritas karena menurunkan tingkat adhesivitas *metal foam* terhadap air. Perbedaan ini menunjukkan bahwa lapisan hidrofobik secara signifikan mengurangi kemampuan kapilaritas *metal foam*, yang diakibatkan oleh penurunan adhesivitas antara air dan permukaan *metal foam*. Hal ini penting untuk aplikasi yang memerlukan kontrol penyerapan cairan, di mana lapisan hidrofobik dapat digunakan untuk mengatur laju dan jumlah cairan yang diserap oleh material.

Dari persamaan 3, diperoleh model analitis sesuai grafik yang ditunjukkan pada Gambar 9b, dimana tekanan kapilaritas optimum diperoleh apabila sudut kontak bernilai 0° . Atau dalam arti lain, semakin kecil sudut kontak maka semakin tinggi tekana kapilernya. Sudut kontak tersebut merupakan kriteria pembasahan sempurna pada permukaan *metal foam* (superhidrofilik) dan optimal untuk diaplikasikan sebagai bahan wick structure pada heat pipe untuk meningkatkan kinerja termalnya.

Metal foam yang dilapisi hidrofobik menyerap 0,03 gr air dalam 10 detik pertama, kondisi ini berlanjut untuk 50 detik berikutnya dan setelah 90 detik, pemompaan kapiler mencapai titik saturasi di mana jumlah air yang telah mengisi celah kapiler tidak dapat bergerak lagi karena jumlahnya telah mencapai maksimum. Pelapisan hidrofobik pada *metal foam* menghambat kemampuan kapilaritasnya karena mengurangi tingkat adhesi *metal foam* terhadap air.



Gambar 9. Hubungan antara waktu dan massa air yang diserap oleh *metal foam* hidrofilik dan hidrofobik (a) dan hubungan antara tekanan kapilaritas *metal foam* dengan sudut kontak

4. PENUTUP

4.1. Kesimpulan

Kekasaran *metal foam* adalah faktor dimensi fisik yang meningkatkan luas permukaan kontak sehingga mudah menangkap udara yang dapat meningkatkan heterogenitas kontak yang terjadi pada permukaan *metal foam*. Lapisan tambahan pada permukaan *metal foam* menangkap molekul oksigen yang masuk ke dalam permukaan karena mengalami proses katalisis ketika bereaksi dengan lapisan tambahan katalis. Selain itu, pelapisan hidrofobik tidak memengaruhi komposisi grup molekuler secara keseluruhan. Kestabilan basah dari lapisan *metal foam* tanpa lapisan hidrofobik lebih tinggi dibandingkan sampel dengan lapisan hidrofobik. *Metal foam* yang dilapisi hidrofobik menghambat kemampuan kapilaritasnya karena mengurangi tingkat adhesi *metal foam* terhadap air.

4.2. Saran

Sebagai saran, untuk meningkatkan performa *metal foam* dalam aplikasi sebagai struktur wick pada pipa panas, perlu dipertimbangkan untuk memperbaiki kekasaran permukaan *metal foam* hidrofobik guna meningkatkan adhesinya terhadap air. Selain itu, perlu dilakukan riset lebih lanjut untuk meningkatkan sifat kapilaritas *metal foam*.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Z. He, Y. Yan, and Z. Zhang, "Thermal management and temperature uniformity enhancement of electronic devices by micro heat sinks: A review," *Energy*, vol. 216, p. 119223, 2021
- [2] F. Rostamian, N. Etesami, and M. Haghgoo, "Management of electronic board temperature using heat sink containing pure and microencapsulated phase change materials," *International Communications in Heat and Mass Transfer*, vol. 126, p. 105407, 2021
- [3] Y. Wang, J. Cen, F. Jiang, W. Cao, and J. Guo, "LHP heat transfer performance: A comparison study about sintered copper powder wick and copper mesh wick," *Applied Thermal Engineering*, vol. 92, pp. 104–110, 2016
- [4] K. Zhu, X. Chen, B. Dai, M. Zheng, Y. Wang, and H. Li, "Operation characteristics of a new-type loop heat pipe (LHP) with wick separated from heating surface in the evaporator," *Applied Thermal Engineering*, vol. 123, pp. 1034–1041, 2017
- [5] R. J. McGlen, "An introduction to additive manufactured heat pipe technology and advanced thermal management products," *Thermal Science and Engineering Progress*, vol. 25, p. 100941, 2021
- [6] A. Siricharoenpanich, S. Wiriyasart, A. Srichat, and P. Naphon, "Thermal management system of CPU cooling with a novel short heat pipe cooling system," *Case Studies in Thermal Engineering*, vol. 15, p. 100545, 2019
- [7] T. Wang, Y. Zhao, Y. Diao, C. Ma, Y. Zhang, and X. Lu, "Experimental investigation of a novel thermal storage solar air heater (TSSAH) based on flat micro-heat pipe arrays," *Renewable Energy*, vol. 173, pp. 639–651, 2021
- [8] M. A. Chernysheva and Y. F. Maydanik, "Effect of liquid filtration in a wick on thermal processes in a flat disk-shaped evaporator of a loop heat pipe," *International Journal of Heat and Mass Transfer*, vol. 106, pp. 222–231, 2017

- [9] J.-L. Luo, D.-C. Mo, Y.-Q. Wang, and S.-S. Lyu, "Biomimetic Copper Forest Wick Enables High Thermal Conductivity Ultrathin Heat Pipe," *ACS Nano*, vol. 15, no. 4, pp. 6614–6621, 2021
- [10] W. Cui, X. Li, X. Li, L. Lu, T. Ma, and Q. Wang, "Combined effects of nanoparticles and ultrasonic field on thermal energy storage performance of phase change materials with metal foam," *Applied Energy*, vol. 309, p. 118465, 2022
- [11] P. F. Nugraha and N. Putra, "The Fabrication and Testing Development of Heat Pipe Wicks: A Review," in *2019 IEEE 2nd International Conference on Power and Energy Applications (ICPEA)*, IEEE, Apr. 2019, pp. 264–271.
- [12] S. Heinze, T. Bleistein, A. Düster, S. Diebels, and A. Jung, "Experimental and numerical investigation of single pores for identification of effective metal foams properties," *ZAMM - Journal of Applied Mathematics and Mechanics / Zeitschrift für Angewandte Mathematik und Mechanik*, vol. 98, no. 5, pp. 682–695, 2018
- [13] M. J. Sohrabi, M. Naghizadeh, and H. Mirzadeh, "Deformation-induced martensite in austenitic stainless steels: A review," *Archives of Civil and Mechanical Engineering*, vol. 20, no. 4, p. 124, 2020
- [14] C.-M. Hsu, Y.-C. Tzeng, S.-F. Chen, Y.-L. Chen, and H.-L. Lee, "Fabrication of 17-4PH Stainless Steel Foam by a Pressureless Powder Space Holder Technique," *Advanced Engineering Materials*, vol. 23, no. 6, p. 2001202, 2021
- [15] F. H. S. Ginting, S. Humaidi, and A. P. Tetuko, "Stainless steel foam as wick material in heat pipe for electronics cooling application," *Journal of Physics: Conference Series*, vol. 2193, no. 1, p. 012025, 2022
- [16] A. C. Kaya, P. Zaslansky, M. Ipekoglu, and C. Fleck, "Strain hardening reduces energy absorption efficiency of austenitic stainless steel foams while porosity does not," *Materials & Design*, vol. 143, pp. 297–308, 2018
- [17] Ö. Bağcı, A. Arbak, M. De Paepe, and N. Dukhan, "Investigation of low-frequency-oscillating water flow in metal foam with 10 pores per inch," *Heat and Mass Transfer*, vol. 54, no. 8, pp. 2343–2349, 2018
- [18] T.-Rehman and H. M. Ali, "Experimental investigation on paraffin wax integrated with copper foam based heat sinks for electronic components thermal cooling," *International Communications in Heat and Mass Transfer*, vol. 98, pp. 155–162, 2018
- [19] E. E. Ubuo, I. A. Udoetok, A. T. Tyowua, I. O. Ekwere, and H. S. Al-Shehri, "The direct cause of amplified wettability: Roughness or surface chemistry?," *Journal of Composites Science*, vol. 5, no. 8, pp. 1–9, 2021
- [20] I. Ro, J. Resasco, and P. Christopher, "Approaches for Understanding and Controlling Interfacial Effects in Oxide-Supported Metal Catalysts," *ACS Catalysis*, vol. 8, no. 8, pp. 7368–7387, 2018
- [21] E. Sembiring, D. Bonardo, K. Sembiring, and Z. Sitorus, "Analyze The Strength of Ceramics Made from Clay, Sinabung Volcanic Ash and Sea Water in The Term of The Structure," *Journal of Physics: Conference Series*, vol. 2019, no. 1, p. 012066, 2021
- [22] N. Alvandifar, M. Saffar-Avval, and E. Amani, "Partially metal foam wrapped tube bundle as a novel generation of air cooled heat exchangers," *International Journal of Heat and Mass Transfer*, vol. 118, pp. 171–181, 2018
- [23] K. Kim, J. D. Lichtenhan, and J. U. Otaigbe, "Facile route to nature inspired hydrophobic surface modification of phosphate glass using polyhedral oligomeric silsesquioxane with improved properties," *Applied Surface Science*, vol. 470, pp. 733–743, 2019
- [24] D. Bonardo, N. L. W. Septiani, F. Amri, and S. H. Estanto, "Suyatman, and B. Yulianto," *J. Electrochem. Soc.*, vol. 168, no. 107502, p. 10, 2021 .
- [25] M. Egbo, J. Keese, and G. Hwang, "Enhanced wickability of bi-particle-size, sintered-particle wicks for high-heat flux two-phase cooling systems," *International Journal of Heat and Mass Transfer*, vol. 179, p. 121714, 2021
- [26] D. Jafari, P. Di Marco, S. Filippeschi, and A. Franco, "An experimental investigation on the evaporation and condensation heat transfer of two-phase closed thermosyphons," *Experimental Thermal and Fluid Science*, vol. 88, pp. 111–123, 2017
- [27] R. A. Ningrum, S. Humaidi, S. Sihotang, D. Bonardo, and Estanto, "Synthesis and material characterization of calcium carbonate (CaCO₃) from the waste of chicken eggshells," *Journal of Physics: Conference Series*, vol. 2193, no. 1, p. 012009, 2022