



Analisis Pengaruh Variasi Suhu Pembakaran Terhadap Mikrostruktur Dan Kandungan Silika Abu Kulit Kakao (*Theobroma Cacao*) Dengan Metode SEM Dan XRD

Abdul Halim Daulay¹, Masthura¹, dan Arninda Pratiwi^{1*}

¹*Program Studi Fisika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Sumatera Utara Medan*

Email: arnindapратиwi171@gmail.com

*Corresponding Author

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh suhu pembakaran terhadap mikrostruktur dan ukuran diameter partikel rata-rata silika abu kulit kakao, dan untuk mengetahui pengaruh suhu pembakaran terhadap kandungan silika abu kulit kakao. Metode yang digunakan yaitu eksperimen melalui pendekatan secara kuantitatif. Bahan dasar yang digunakan adalah kulit kakao (*Theobroma Cacao*) dengan suhu pembakaran 450, 550, 650, dan 750 °C. Pengujian yang digunakan untuk menentukan mikrostruktur dan kandungan silika abu kulit kakao adalah SEM dan XRD setelah itu dianalisis kembali dengan menggunakan *Software Digimizer* dan *Software X-Powder*. Hasil SEM berdasarkan mikrostruktur menyatakan terjadinya aglomerasi pada sampel silika abu kulit kakao, dan diketahui ukuran diameter partikel sampel A = 1,6916 μ m, sampel B = 0,7824 μ m, sampel C = 0,7809 μ m, dan sampel D = 0,7173 μ m. Berdasarkan hasil XRD dapat diketahui bahwa silika yang terkandung pada sampel A = 34,8%, sampel B = 49,0%, sampel C = 65,0%, dan sampel D = 70,6%. Berdasarkan hasil SEM hasil terbaik berada pada sampel yang memiliki ukuran terkecil yaitu sampel D dengan ukuran diameter partikel 0,7173 μ m dan berdasarkan hasil XRD hasil terbaik berada pada sampel D dengan kandungan SiO₂ tertinggi yaitu 70,6%. Sehingga suhu pembakaran mempengaruhi hasil SEM dan XRD dimana suhu efektif dalam pembuatan silika abu kulit kakao adalah 750 °C.

Katakunci: Kulit Kakao, SEM, Silika, Variasi Suhu Pembakaran, XRD.

Abstract

*This study aims to determine the effect of combustion temperature on the microstructure and particle diameter of the average silica ash of cocoa shells, and to determine the effect of combustion temperature on the silica content of cocoa shell ash. The method used is experimental through a quantitative approach. The basic material used is cocoa husk (*Theobroma cacao*) with combustion temperatures of 450, 550, 650, and 750 °C. The tests used to determine the microstructure and silica content of cocoa husk ash were SEM and XRD after which they were analyzed again using *Digimizer Software* and *X-Powder Software*. SEM results based on microstructure indicate the occurrence of agglomeration in the cocoa ash silica sample, and it is known that the particle diameter size of sample A = 1,6916 μ m, sample B = 0,7824 μ m, sample C = 0,7809 μ m, and sample D = 0,7173 μ m. Based on the XRD results, it can be seen that the silica contained in sample A = 34,8%, sample B = 49,0%, sample C = 65,0%, and sample D = 70,6%. Based on the SEM results, the best results are in the sample which has the smallest size, namely sample D with a particle diameter of 0,7173 μ m and based on XRD results the best results are in sample D with the highest SiO₂ content of 70,6%. So*

that the combustion temperature affects the results of SEM and XRD where the effective temperature in the manufacture of cocoa shell ash silica is 750 °C.

Keywords: *Cocoa Peel, SEM, Silica, Variation of Burning Temperature, XRD.*

Info Artikel

Status artikel:

Diterima: 29 September 2022

Disetujui: 17 Desember 2022

Tersedia Online: 31 Desember 2022

1. PENDAHULUAN

Silika (SiO_2) merupakan salah satu senyawa yang dapat ditemukan di alam secara melimpah. Silika ialah senyawa kimia yang tersusun oleh dua unsur yang saling berikatan yaitu unsur silikon dan unsur oksigen. Unsur oksigen merupakan unsur yang paling banyak ditemukan di alam, sedangkan unsur silikon merupakan unsur kedua terbanyak setelah oksigen, oleh sebab itu senyawa silika (SiO_2) merupakan senyawa yang sering dijumpai di alam. Silika terdapat pada bahan-bahan organik yang ada di alam yaitu pada tumbuh-tumbuhan seperti kulit buah kakao, tongkol jagung, sekam padi [1]. Silika juga terdapat dalam limbah-limbah alami lainnya seperti pada daun bambu, ampas tebu, rumput gajah, alang-alang, dan juga terdapat melalui proses penambangan seperti pasir silika, granit dan lain-lain [2].

Silika dapat dimanfaatkan di berbagai aplikasi dan kehidupan sehari-hari misalnya di dalam bidang elektronik, medis, seni, dan bidang-bidang lainnya [3]. Tetapi untuk bahan silika yang khususnya berasal dari bahan organik seperti kulit kakao masih tidak dimanfaatkan secara optimum khususnya di Desa Galang Suka Dusun II Kecamatan Galang, Kabupaten Deli Serdang, Provinsi Sumatera Utara. Oleh sebab itu dibutuhkan pengoptimalisasi penggunaan bahan alam seperti kulit kakao dalam pembuatan silika, serta untuk menghasilkan silika dengan kualitas yang baik yaitu mempunyai kemurnian tinggi dapat dilakukan proses pemurnian dengan menggunakan larutan asam yaitu HCl.

HCl atau yang biasa dikenal dengan asam klorida adalah larutan yang merupakan asam kuat yang terbentuk dari gabungan unsur hidrogen dan unsur klorida. HCl atau cairan asam klorida ini dapat berfungsi untuk memurnikan suatu bahan agar dapat menghasilkan kemurnian yang tinggi serta mengurangi pengotor-pengotor yang ada pada suatu sampel [4]. Salah satu bahan alam yang memerlukan proses pemurnian dengan menggunakan HCl yaitu silika yang ada di alam, karena masih terdapat beberapa pengotor-pengotor yang tidak dibutuhkan dalam sampel [5]. Selain itu dibutuhkan suhu yang optimum yang dapat digunakan dalam pembakaran kulit kakao untuk menghasilkan persentase atau kandungan silika yang terbaik. Suhu pembakaran kulit kakao sangat mempengaruhi persentase kandungan silika yang dihasilkan dan suhu tinggi menghasilkan silika dengan kemurnian tinggi [6]. Oleh sebab itu harus diperhatikan suhu dalam pembakaran kulit kakao.

Untuk menganalisis sampel yang telah melewati proses pembakaran dengan variasi suhu 450, 550, 650, dan 750 °C dan pemurnian dengan menggunakan HCl tersebut

dibutuhkan karakterisasi yang mendukung seperti uji SEM dan uji XRD. SEM (*Scanning Electron Microscopy*) merupakan analisis atau karakterisasi yang berfungsi untuk melihat mikrostruktur permukaan suatu sampel, serta SEM dapat juga berfungsi untuk melihat persebaran partikel dalam suatu sampel [7]. Sedangkan XRD (*X-Ray Diffraction*) merupakan analisis yang berfungsi untuk melihat senyawa-senyawa yang terkandung dalam suatu sampel, serta melihat fasa kristalin yang terbentuk dalam suatu sampel. XRD menggunakan radiasi gelombang elektromagnetik sinar-X untuk mengetahui fasa kristalin yang terbentuk pada suatu bahan [8].

Pada penelitian ini difokuskan untuk mencari pengaruh variasi suhu pembakaran terhadap mikrostruktur dan ukuran diameter partikel silika, serta memfokuskan untuk mencari pengaruh suhu pembakaran terhadap persentase kandungan silika abu kulit kakao. Dalam penelitian ini hasil karakterisasi SEM dan XRD akan dianalisis kembali dengan menggunakan *Software Digimizer* yang berfungsi untuk mengetahui ukuran diameter partikel pada silika dan *Software X-Powder* yang berfungsi untuk mengetahui persentase kandungan silika yang dihasilkan, serta untuk mengetahui senyawa-senyawa yang terkandung di dalam sampel silika abu kulit kakao. Sampel pengujian dalam penelitian ini terdiri dari 4 sampel yaitu sampel A merupakan sampel yang menggunakan suhu pembakaran 450 °C, sampel B merupakan sampel yang menggunakan suhu pembakaran 550 °C, sampel C merupakan sampel yang menggunakan suhu pembakaran 650 °C, dan sampel D merupakan sampel yang menggunakan suhu pembakaran 750 °C. Penelitian ini diharapkan dapat menghasilkan silika abu kulit kakao dengan persentase kandungan yang tinggi, kualitas yang bagus, dan dimanfaatkan di berbagai bidang khususnya material, serta diharapkan untuk dapat mengurangi limbah kulit kakao di masyarakat.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan beberapa peralatan yaitu: pisau, tampah, ember, wadah, botol plastik, batang pengaduk, spatula, pipet tetes, penjepit kayu, ayakan 100 mesh, corong, erlenmeyer, gelas ukur, gelas beaker, cawan porselen, cawan petri, mortar, *hotplate*, desikator, neraca digital, oven, *furnace*/tanur, perangkat SEM, dan perangkat XRD. Sedangkan bahan yang digunakan yaitu: kulit kakao (*Theobroma cacao*), akuades, larutan asam klorida, dan kertas saring. Silika abu kulit kakao dapat dihasilkan dari proses pengabuan kulit kakao yang dimulai dari pengambilan buah kakao dari perkebunan, pemisahan biji buah kakao dengan kulit kakao, pemotongan kulit buah kakao menjadi ukuran 3 cm, pencucian kulit kakao, pengeringan selama 7 hari, pembakaran kulit buah kakao dengan menggunakan variasi suhu 450, 550, 650, dan 750 °C selama 3 jam, pendinginan dan pengalusan sampel, serta disaring memakai ayakan 100 mesh sehingga diperoleh hasil abu kulit kakao.

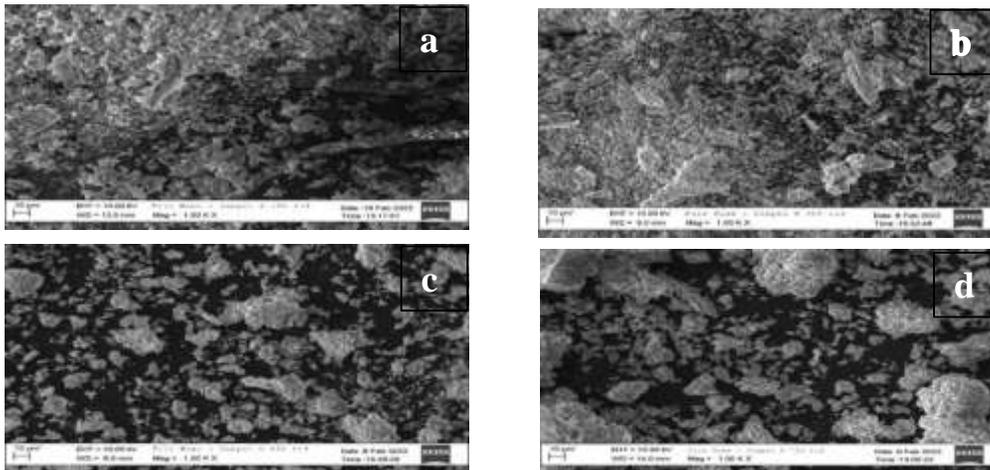
Selanjutnya untuk proses karakterisasi silika abu kulit kakao dimulai dengan penentuan kadar abu, pemurnian abu kulit kakao dengan menggunakan asam yaitu HCl 37%, karakterisasi abu kulit kakao dengan menggunakan SEM dan XRD. Proses pemurnian abu kulit kakao dengan menggunakan HCl 37% ini bertujuan untuk membuat silika abu kulit kakao yang dihasilkan lebih murni atau bersih dari pengotor-pengotor yang tidak dibutuhkan pada sampel. Proses pemurnian menghasilkan silika berwarna putih kecokelatan yang diperoleh dari proses pertama, abu kulit kakao dimasukkan ke dalam cawan petri, setelah itu

dibasahi dengan menggunakan akuades panas. Kedua, abu kulit kakao tersebut ditambahkan dengan 5 ml HCl 37% dan diuapkan sampai kering di dalam oven dengan suhu 100 °C sampai kering selama 1 jam. Ketiga, setelah abu kulit kakao kering dipindahkan ke dalam gelas beker, kemudian ditambahkan 20 ml akuades panas dan 1 ml HCl 37% dan diaduk dengan menggunakan *magnetic stirrer* yang diletakkan di atas *hotplate* selama 5 menit dengan suhu 250 °C. Keempat, cairan abu kulit kakao tersebut disaring, serta dicuci dengan menggunakan akuades panas sebanyak 4-5 kali, serta hasil dari penyaringan dipanaskan dengan menggunakan *furnace* mula-mula dengan suhu 300 °C selama 30 menit, kemudian dinaikkan suhu *furnace* menjadi 600 °C dengan waktu penahanan selama 1 jam. Sehingga diperoleh silika abu kulit kakao yang berwarna putih kecokelatan. Sampel yang telah diperoleh kemudian dilakukan karakterisasi SEM dan XRD. Data yang diperoleh dari hasil SEM yang berupa gambar mikrostruktur sampel silika abu kulit kakao kemudian dianalisis dengan menggunakan *Software Digimizer* dan data hasil XRD yang berupa difaktogram sampel silika abu kulit kakao dianalisis dengan menggunakan *Software X-Powder*.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

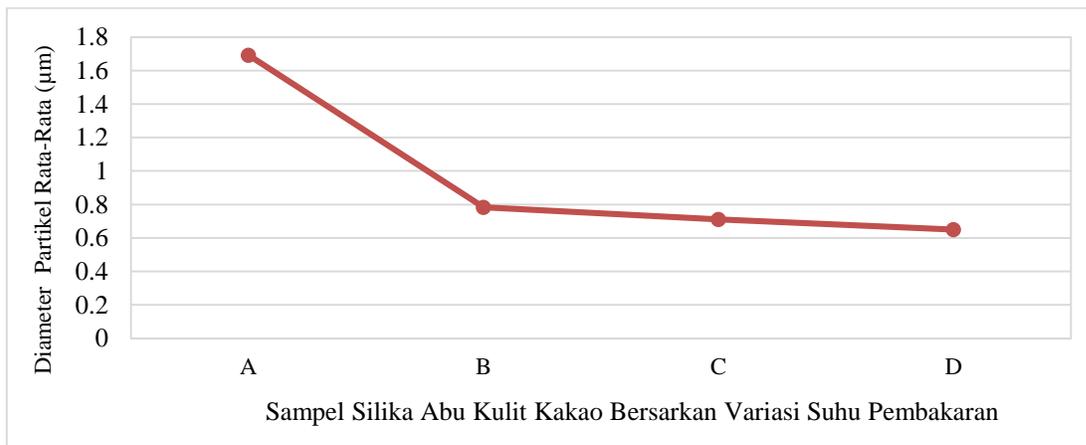
3.1 Hasil Analisis SEM

Silika abu kulit kakao yang telah dihasilkan dianalisis dengan menggunakan karakterisasi yaitu SEM. SEM adalah suatu metode karakterisasi yang berfungsi untuk mengetahui mikrostruktur dari suatu bahan atau untuk melihat bentuk permukaan suatu bahan material [9]. Berdasarkan hasil SEM yang telah dilakukan terlihat dari keseluruhan sampel yang ada masih terjadinya aglomerasi. Aglomerasi adalah proses terbentuknya gumpalan-gumpalan partikel yang disebabkan karena adanya proses *mechanical chemical* yang bisa terjadi karena adanya faktor mekanik yang ada ketika sampel dimasukkan ke dalam alat karakterisasi, misalnya alat karakterisasi yang terbuat dari logam masih terdapat air di dalamnya sehingga membuat sampel menjadi bergumpal atau tidak merata ke seluruh bagian [10]. Aglomerasi ini juga dapat terjadi karena kurang stabilnya kecepatan antara partikel-partikel dalam sebuah sampel. Partikel-partikel pada sampel memiliki ukuran nano yang mengakibatkan terjadinya tumbukan antara partikel sehingga terbentuklah gumpalan pada sampel. Aglomerasi inilah yang membuat hasil mikrostruktur sampel tidak merata, tetapi aglomerasi tidak mempengaruhi kandungan dari suatu sampel [11]. Hasil Analisis SEM dengan perbesaran 1000× dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 1. Mikrograf SEM silika abu kulit kakao dengan variasi waktu pembakaran.

Dari hasil analisis SEM diatas dapat diketahui rentang ukuran partikel rata-rata sampel silika abu kulit kakao dengan dianalisis kembali menggunakan *Software Digimizer* didapatkan hasil grafik hubungan antara suhu pembakaran dengan diameter partikel rata-rata yang dihasilkan seperti pada Gambar 2.



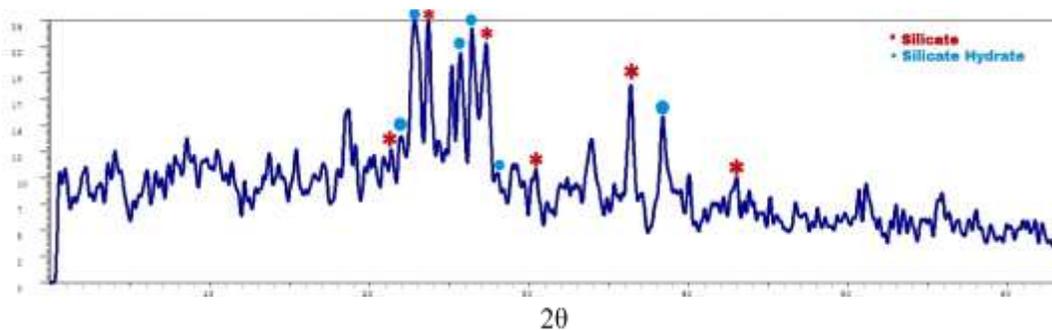
Gambar 2. Grafik hubungan antara suhu pembakaran dengan diameter partikel rata-rata silika abu kulit kakao.

Berdasarkan grafik diatas dapat diketahui hubungan suhu pembakaran sampel silika abu kulit kakao dengan ukuran diameter partikel rata-rata pada sampel sebagai berikut: sampel A = 1,6916 µm, sampel B = 0,7824 µm, sampel C = 0,7809 µm, dan sampel D = 0,7173 µm. Dari hasil tersebut dapat diketahui bahwasanya suhu pembakaran mempengaruhi diameter rata-rata partikel yang dihasilkan dari suatu sampel, dikarenakan ketika sampel dibakar dengan menggunakan suhu yang tinggi, maka partikel-partikel yang ada pada sampel bergerak bebas dan bergerak secara cepat sehingga mengakibatkan tumbukan yang menimbulkan penyebaran partikel silika tersebar secara merata di seluruh bagian sampel [12]. Oleh sebab itu suhu yang tinggi akan menghasilkan ukuran partikel silika yang semakin

kecil yaitu berada pada sampel D. Sehingga sampel D adalah sampel yang terbaik karena memiliki ukuran partikel yang lebih kecil daripada ukuran partikel sampel yang lainnya yaitu 0,7173 μm .

3.2 Hasil Analisis XRD (*X-Ray Diffraction*)

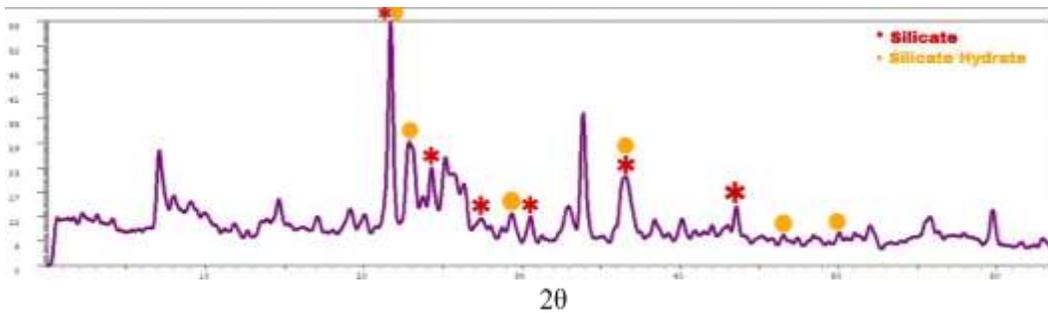
Silika abu kulit kakao yang telah dihasilkan dianalisis dengan menggunakan XRD untuk mengetahui kandungan senyawa-senyawa yang terdapat dalam sampel silika abu kulit kakao, serta untuk mengetahui fasa kristalin, sudut antara puncak yang terbentuk, serta jarak spasi pada kristal yang terbentuk [13]. Data base yang telah ada kemudian dianalisis kembali dengan menggunakan *Software X-Powder* untuk membantu membaca puncak-puncak dari silika yang dihasilkan dan dalam analisis ini yang akan ditampilkan adalah 2 senyawa yang berkaitan dengan senyawa silika yaitu senyawa *Silicate* dan senyawa *Silicate hydrate*. Sampel yang akan dianalisis dengan XRD terdiri dari empat sampel yaitu sampel yang divariasikan suhu pembakarannya. Sampel A merupakan sampel yang dibakar dengan menggunakan suhu 450 °C, sampel B merupakan sampel yang dibakar dengan menggunakan suhu 550 °C, sampel C merupakan sampel yang dibakar dengan menggunakan suhu 650 °C, dan sampel D merupakan sampel yang dibakar dengan menggunakan suhu 750 °C.



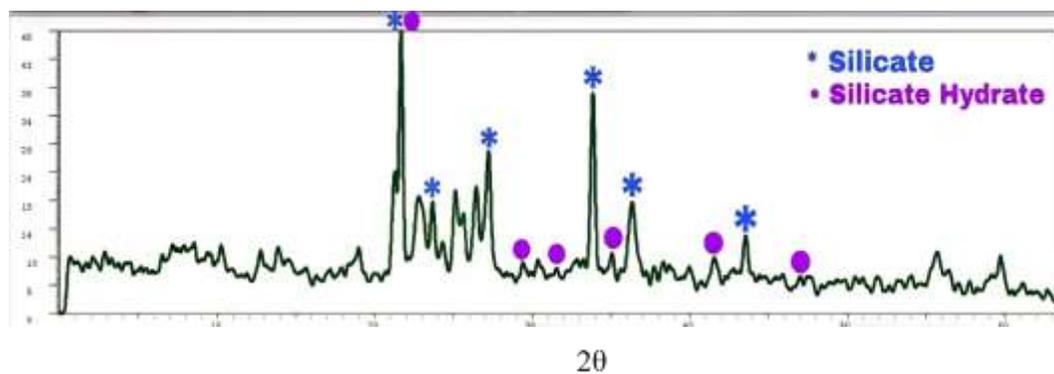
Gambar 3. Puncak-puncak silika abu kulit kakao pada sampel A.

Gambar 3. menunjukkan puncak-puncak difraksi pada sampel A yang dibakar dengan menggunakan suhu 450 °C yaitu terdiri dari dua sampel yaitu *Silicate* dan *Silicate Hydrate* sesuai dengan simbol yang telah tertera pada Gambar 3. Dimana untuk senyawa *Silicate* berada pada sudut $2\theta = 21,571^\circ, 23,843^\circ, 27,497^\circ, 30,461^\circ, 36,042^\circ, \text{ dan } 42,857^\circ$. Sedangkan untuk senyawa *silicate hydrate* berada pada sudut $2\theta = 21,767^\circ, 22,855^\circ, 25,719^\circ, 26,411^\circ, 28,386^\circ, \text{ dan } 38,363^\circ$.

Gambar 4 menunjukkan puncak-puncak difraksi pada sampel B yang dibakar dengan menggunakan suhu 550 °C yaitu terdiri dari dua sampel yaitu *Silicate* dan *Silicate Hydrate* sesuai dengan simbol yang telah tertera pada Gambar 4. Dimana untuk senyawa *Silicate* berada pada sudut $2\theta = 21,571^\circ, 23,843^\circ, 27,596^\circ, 30,362^\circ, 36,091^\circ, \text{ dan } 43,697^\circ$. Sedangkan untuk senyawa *Silicate hydrate* berada pada sudut $2\theta = 21,571^\circ, 22,954^\circ, 29,325^\circ, 36,091^\circ, 46,858^\circ, \text{ dan } 48,438^\circ$.

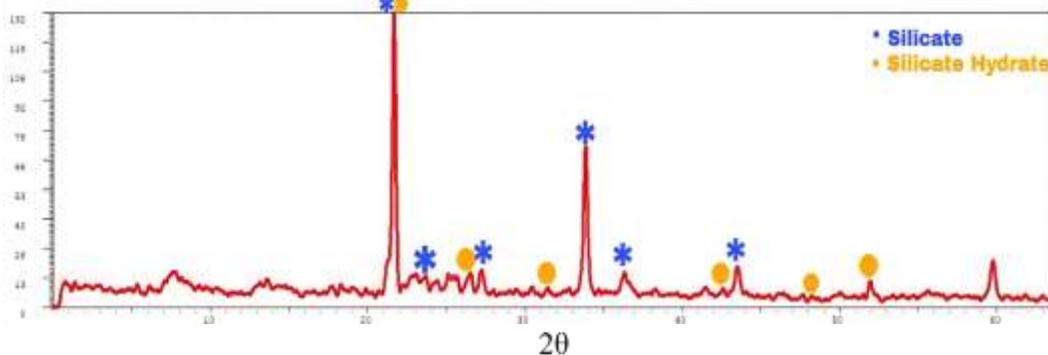


Gambar 4. Puncak-puncak silika abu kulit kakao pada sampel B.



Gambar 5. Puncak-puncak silika abu kulit kakao pada sampel C.

Gambar 5. menunjukkan puncak-puncak difraksi pada sampel C yang dibakar dengan menggunakan suhu 650 °C yaitu terdiri dari dua sampel yaitu *Silicate* dan *Silicate Hydrate* sesuai dengan simbol yang telah tertera pada Gambar 5. Dimana untuk senyawa *Silicate* berada pada sudut $2\theta = 21,571^\circ, 23,843^\circ, 27,547^\circ, 30,362^\circ, 36,042^\circ,$ dan $43,697^\circ$. Sedangkan untuk senyawa *Silicate hydrate* berada pada sudut $2\theta = 21,571^\circ, 29,424^\circ, 31,251^\circ, 35,054^\circ, 41,524^\circ,$ dan $46,858^\circ$. Sampel C yang dibakar dengan menggunakan suhu 650 °C menghasilkan kandungan silika sebesar 65,0%.



Gambar 6. Puncak-puncak silika abu kulit kakao pada sampel D.

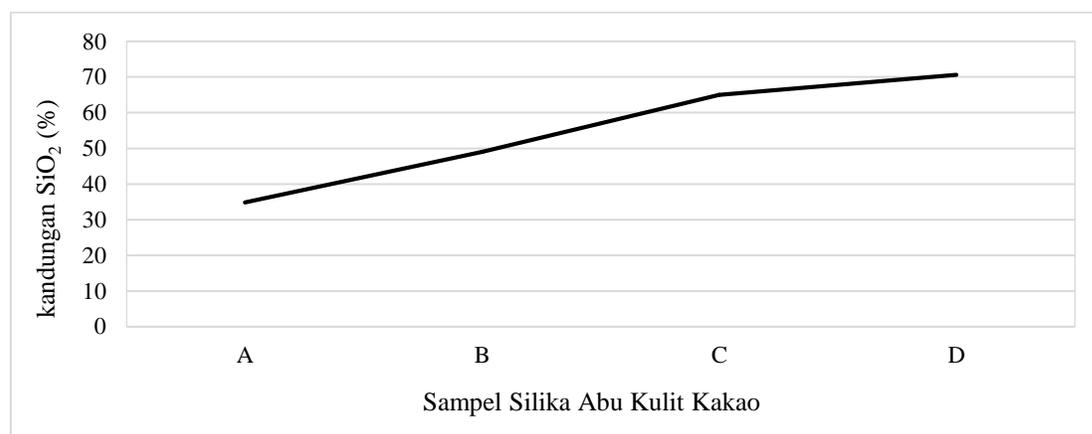
Gambar 6. menunjukkan puncak-puncak difraksi pada sampel D yang dibakar dengan menggunakan suhu 750 °C yaitu terdiri dari dua sampel yaitu *Silicate* dan *Silicate Hydrate* sesuai dengan simbol yang telah tertera pada Gambar 6. Dimana untuk senyawa *Silicate* berada pada sudut $2\theta = 21,571^\circ, 23,843^\circ, 27,596^\circ, 33,869^\circ, 36,042^\circ, \text{ dan } 43,697^\circ$. Sedangkan untuk senyawa *Silicate hydrate* berada pada sudut $2\theta = 21,571^\circ, 26,559^\circ, 31,251^\circ, 42,462^\circ, 48,438^\circ, \text{ dan } 51,945^\circ$.

Dari hasil analisis yang telah dilakukan dengan menggunakan *Software X-Powder* didapatkan perbandingan persentase kandungan SiO₂ terhadap variasi suhu pembakaran dapat dilihat seperti pada tabel 1.

Tabel 1. Kandungan Silika (SiO₂) pada sampel abu kulit kakao dengan menggunakan *Software X-Powder*.

Nama Sampel	Suhu Pembakaran (°C)	Kandungan SiO ₂ (%)
A	450	34,8
B	550	49,0
C	650	65,0
D	750	70,6

Grafik hubungan antara suhu pembakaran silika abu kulit kakao dengan persentase kandungan silika abu kulit kakao dapat dilihat pada Gambar 7. berikut:



Gambar 7. Grafik hubungan antara suhu pembakaran dengan persentase kandungan silika abu kulit kakao.

Dari tabel 1 dan grafik di atas dapat dilihat hubungan antara suhu pembakaran dengan kandungan silika abu kulit kakao, SiO₂ sampel A = 34,8%, SiO₂ sampel B = 49,0%, SiO₂ sampel C = 65,0%, dan SiO₂ sampel D = 70,6%. Sampel D yang dibakar dengan menggunakan suhu 750 °C yaitu sampel D merupakan sampel terbaik yaitu memiliki kandungan silika sebesar 70,6%. Suhu yang tinggi mempengaruhi kemurnian dari silika yang dihasilkan, maksudnya silika yang dihasilkan akan lebih murni jika suhu yang digunakan

tinggi, sehingga pengotor-pengotor yang tidak dibutuhkan akan hilang dan membuat silika menjadi murni. Seperti pada penelitian sebelumnya yang menyatakan bahwa suhu pembakaran mempengaruhi persentase silika yang dihasilkan, atau dalam kata lain semakin tinggi suhu pembakaran yang digunakan maka jumlah silika yang dihasilkan semakin besar dan sebaliknya jika suhu pembakaran yang digunakan kecil maka persentase silika yang dihasilkan akan semakin menurun [14]. Berdasarkan hasil SEM dan XRD silika abu kulit kakao sampel terbaik adalah sampel D yang dibakar dengan menggunakan suhu 750 °C dan yang sudah melalui pemurnian dengan menggunakan cairan asam yaitu HCl. Bersesuaian dengan penelitian sebelumnya yang menggunakan suhu 750 °C dan menggunakan cairan asam yaitu HCl untuk menghasilkan silika abu sekam padi dengan kemurnian yang tinggi, dan dalam penelitian ini suhu 750 °C dan HCl terbukti untuk menghasilkan silika yang memiliki kemurnian yang tinggi [15].

4. SIMPULAN

Dari penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa suhu pembakaran abu kulit kakao mempengaruhi mikrostruktur dan diameter partikel pada sampel silika abu kulit kakao, suhu pembakaran juga mempengaruhi persentase kandungan silika abu kulit kakao yang dihasilkan, semakin tinggi suhu pembakaran maka semakin kecil pula ukuran diameter partikel rata-rata pada sampel silika abu kulit kakao, juga semakin tinggi suhu pembakaran semakin tinggi pula persentase silika yang dihasilkan. Untuk ukuran diameter partikel yang terbaik adalah sampel D yaitu 0,7173 μm , sedangkan untuk kandungan partikel yang terbaik juga berada pada sampel D yaitu mengandung SiO_2 sebanyak 70,6%. Dari penjelasan tersebut dapat dilihat bahwasanya silika abu kulit kakao dapat digunakan untuk berbagai aplikasi khususnya di bidang material karena memiliki kandungan silika yang tinggi.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] T. Trianasari, P. Manurung, and P. K. Karo, "Analisis dan Karakterisasi Kandungan Silika (SiO_2) sebagai Hasil Ekstraksi Batu Apung (Pumice)," *J. Teori Dan Apl. Fis.*, vol. 5, no. 2, Art. no. 2, Jul. 2017, doi: 10.23960/jtaf.v5i2.1814.
- [2] I. Ishar, "Ekstraksi dan Karakterisasi Silika dari Abu Ampas Tebu (*Saccharum officinarum* L.) sebagai Material Anti Korosi Pada Baja Karbon," other, Universitas Hasanuddin, 2021. Accessed: Dec. 20, 2022. [Online]. Available: <http://repository.unhas.ac.id/id/eprint/8630/>
- [3] I. Irmawati, "Pemanfaatan Silika (SiO_2) Alam Gunung Latimojong Teraktivasi Asam Klorida (HCl) sebagai Adsorben Logam Timbal (Pb)," diploma, Universitas Islam Negeri Alauddin Makassar, 2018. Accessed: Dec. 20, 2022. [Online]. Available: <http://repositori.uin-alauddin.ac.id/16327/>
- [4] D. M. Anggia and S. Suprpto, "Pemurnian Silika Pada Abu Layang Dari Pembangkit Listrik di Paiton (PT YTL) Dengan Pelarutan Asam Klorida dan Aqua regia," *J. Sains Dan Seni ITS*, vol. 5, no. 2, Art. no. 2, Nov. 2016, doi: 10.12962/j23373520.v5i2.17415.

- [5] L. V. Sari, P. Manurung, and Y. Yulianti, "Pengaruh Variasi Konsentrasi HCl Pada Pembentukan Nanosilika Berbasis Batu Apung," *J. Teori Dan Apl. Fis.*, vol. 7, no. 2, Art. no. 2, Jul. 2019, doi: 10.23960/jtaf.v7i2.1945.
- [6] T. Y. Rozi and A. Astuti, "Pengaruh Temperatur Kalsinasi pada Sintesis Nanopartikel Silika Pantai Purus Kota Padang," *J. Fis. Unand*, vol. 5, no. 4, Art. no. 4, Oct. 2016, doi: 10.25077/jfu.5.4.351-356.2016.
- [7] J. Pusvitasari, P. Manurung, and P. K. Karo, "Pengaruh Variasi HCl Pada Pemurnian Silika Berbasis Batu Apung," *J. Teori Dan Apl. Fis.*, vol. 6, no. 1, Art. no. 1, Jan. 2018, doi: 10.23960/jtaf.v6i1.1833.
- [8] L. Hakim, M. Dirgantara, and M. Nawir, "Karakterisasi Struktur Material Pasir Bongkahan Galian Golongan C Dengan Menggunakan X-Ray Diffraction (X-RD) Di Kota Palangkaraya," *J. Jejaring Mat. Dan Sains*, vol. 1, no. 1, Art. no. 1, Sep. 2019, doi: 10.36873/jjms.v1i1.136.
- [9] F. Farikhin, M. T. Ir. Ngafwan, and S. T. Joko Sedyono, "Analisa Scanning Electron Microscope Komposit Polyester Dengan Filler Karbon Aktif dan Karbon non Aktif," s1, Universitas Muhammadiyah Surakarta, 2016. doi: 10/BAB%20V.pdf.
- [10] T. N. Malika, "Analisis Kualitas Lis Profil Gypsum Dengan Variasi Penambahan Batang Kelor (*Moringa oleivera*)," skripsi, Universitas Islam Negeri Sumatera Utara, 2021. Accessed: Dec. 20, 2022. [Online]. Available: <http://repository.uinsu.ac.id/12539/>
- [11] H. Kiswanto, "Analisis Perubahan Struktur Kristal dan Distribusi Kation Cobalt Ferrite Akibat Substitusi Zinc," *Jiif J. Ilmu Dan Inov. Fis.*, vol. 4, no. 2, Art. no. 2, Aug. 2020, doi: 10.24198/jiif.v4i2.28357.
- [12] E. Erawati and A. Fernando, "Pengaruh Jenis Aktivator dan Ukuran Karbon Aktif terhadap Pembuatan Adsorbent dari Serbuk Gergaji Kayu Sengon (*Paraserianthes Falcataria*)," *J. INTEGRASI PROSES*, vol. 7, no. 2, Art. no. 2, Dec. 2018, doi: 10.36055/jip.v7i2.3808.
- [13] M. Munasir, T. Triwikantoro, M. Zainuri, and D. Darminto, "Uji XRD dan XRF pada Bahan Mineral (Batuan DAN Pasir) sebagai Sumber Material Cerdas (CaCO₃ DAN SiO₂)," *J. Penelit. Fis. Dan Apl. JPFA*, vol. 2, no. 1, Art. no. 1, Jun. 2012, doi: 10.26740/jpfa.v2n1.p20-29.
- [14] Aman and P. S. Utama, "Pengaruh Suhu dan Waktu Pada Ekstraksi Silika dari Abu Terbang (Fly Ash) Batubara," Jun. 2014, Accessed: Dec. 20, 2022. [Online]. Available: <https://repository.unri.ac.id/xmlui/handle/123456789/6457>
- [15] A. Chandra, Y. A. Miryanti, L. B. Widjaja, and A. Pramudita, "Isolasi dan Karakterisasi Silika dari Sekam Padi," *Res. Rep. - Eng. Sci.*, vol. 2, 2012, Accessed: Dec. 20, 2022. [Online]. Available: <https://journal.unpar.ac.id/index.php/rekayasa/article/view/170>