

Pengaruh Variasi Temperatur Terhadap Sifat Hidrofobik Komposit PDMS-Silika Sekam Padi-Graphene Oxide

Rahmi Hendrika Putri^{1*}, Ratnawulan²

^{1,2}Universitas Negeri Padang, Indonesia

Email Correspondence : rahmiendrikaputri@gmail.com

Kata Kunci :

Komposit PDMS; Silika Sekam Padi; Graphene Oxide; Hidrofobik; Sudut Kontak.

Abstrak

Isolator listrik berbasis *polydimethylsiloxane* (PDMS) banyak digunakan pada sistem tenaga listrik luar ruangan karena memiliki sifat hidrofobik yang baik. Namun, sifat hidrofobik PDMS murni cenderung menurun setelah terpapar panas dalam waktu yang lama. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi temperatur perlakuan panas terhadap sifat hidrofobik komposit PDMS yang diperkuat dengan silika yang berasal dari abu sekam padi dan *graphene oxide*, menggunakan pengukuran sudut kontak. Komposit dibuat menggunakan metode *spin coating* pada substrat kaca, kemudian diberi perlakuan panas pada lima variasi temperatur, yaitu 25 °C, 50 °C, 75 °C, 100 °C, dan 125 °C selama satu jam. Sudut kontak diukur menggunakan metode *sessile drop* dan dianalisis menggunakan perangkat lunak ImageJ. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sudut kontak meningkat secara bertahap seiring kenaikan temperatur, dari 101,9° pada 25 °C hingga mencapai nilai maksimum 107,7° pada 100 °C, kemudian menurun menjadi 100,2° pada 125 °C akibat degradasi termal. Seluruh sampel pada rentang temperatur yang diuji tetap menunjukkan sifat hidrofobik ($\theta > 90^\circ$), dengan temperatur 100 °C sebagai temperatur optimum.

Keywords :

PDMS Composite; Rice Husk Silika; Graphene Oxide; Hydrophobicity; Contact Angle.

Abstract

Polydimethylsiloxane (PDMS)-based electrical insulators are widely used in outdoor power systems due to their inherent hydrophobic properties. However, the hydrophobicity of pure PDMS tends to diminish upon prolonged exposure to heat. This study aims to investigate the effect of varying heat treatment temperatures on the hydrophobicity of PDMS composites reinforced with silica derived from rice husk ash and graphene oxide, using contact angle measurements. The composites were fabricated via spin coating onto glass substrates and subsequently heated at five different temperatures—25 °C, 50 °C, 75 °C, 100 °C, and 125 °C—for one hour. Contact angles were measured using the sessile drop method

and ImageJ software. The results indicate that the contact angle increased progressively with temperature, rising from 101.9° at 25 °C to a peak of 107.7° at 100 °C, before decreasing to 100.2° at 125 °C due to thermal degradation. All samples across the tested temperature range remained hydrophobic ($\theta > 90^\circ$), with 100 °C identified as the optimum temperature.



© 2025 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC-BY-SA) license (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>).

PENDAHULUAN

Isolator polimer silicone rubber (SIR) banyak digunakan sebagai bahan isolator luar ruangan karena memiliki sifat tahan air (hidrofobik) yang tinggi, elastisitas yang baik, serta tahan terhadap sinar matahari dan polusi (Han et al., 2022). Meskipun demikian, dalam penggunaan jangka panjang material ini rentan mengalami degradasi akibat paparan lingkungan, terutama fluktuasi temperatur yang dapat menyebabkan penurunan sifat hidrofobik permukaannya (Ning et al., 2023).

Polydimethylsiloxane (PDMS) merupakan salah satu bahan isolator polimer hibrida organik/anorganik yang menjanjikan untuk aplikasi luar ruangan karena memiliki sifat hidrofobik alami yang tinggi, fleksibilitas mekanik, dan stabilitas termal yang baik (Ariati et al., 2021). Sifat hidrofobik PDMS membuat permukaannya mampu menolak air sehingga mencegah terbentuknya jalur konduktif akibat kelembapan. Namun, paparan suhu tinggi dapat mempercepat migrasi gugus metil ke permukaan, sementara siklus pemanasan dan pendinginan berulang dapat menimbulkan retakan mikro akibat perbedaan koefisien muai termal, yang pada akhirnya dapat menurunkan sudut kontak air pada permukaan PDMS (Magu'ga, 2023).

Untuk meningkatkan kestabilan sifat hidrofobik PDMS, material ini dapat dikembangkan menjadi komposit dengan penambahan filler fungsional. Silika dari abu sekam padi dipilih sebagai filler karena mudah diperoleh, murah, ramah lingkungan, dan mampu memberikan sifat hidrofobik yang baik pada komposit PDMS (Nehan et al., 2023). Selain silika, graphene oxide juga ditambahkan sebagai filler berbasis karbon karena memiliki kestabilan termal yang tinggi sehingga berpotensi memperlambat degradasi permukaan akibat pemanasan dan pendinginan berulang, sekaligus turut memperkuat sifat hidrofobik komposit. Tingkat hidrofobisitas suatu permukaan ditentukan melalui pengukuran sudut kontak (θ), yaitu sudut yang terbentuk antara garis singgung tetesan air dengan permukaan material. Semakin besar nilai sudut kontak ($\theta > 90^\circ$), maka permukaan tersebut semakin bersifat hidrofobik atau semakin menolak air (Sethi & Manik, 2018).

Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa peningkatan konsentrasi silika sekam padi mampu memperbesar sudut kontak komposit PDMS dari kategori semi hidrofobik menjadi superhidrofobik (Emiliah, 2025). Akan tetapi, penelitian tersebut belum mengkaji bagaimana sifat hidrofobik komposit berubah ketika terpapar variasi temperatur, sehingga kestabilan hidrofobisitasnya pada kondisi termal yang berbeda

masih belum diketahui secara jelas. Berdasarkan hal tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi temperatur perlakuan panas terhadap sifat hidrofobik komposit PDMS-silika sekam padi-graphene oxide, sehingga diperoleh temperatur optimum yang menghasilkan sifat hidrofobik terbaik.

METODE

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimen yang dilaksanakan di Laboratorium Fisika Material dan Biofisika serta Laboratorium Kimia FMIPA Universitas Negeri Padang. Bahan utama yang digunakan adalah Polydimethylsiloxane (Sylgard 184), silika hasil ekstraksi abu sekam padi melalui metode sol-gel, dan graphene oxide yang dimodifikasi menjadi struktur core-shell GO@SiO₂. Komposit dibuat dengan mencampurkan GO@SiO₂ (0,005 g) dan silika sekam padi (0,4 g) ke dalam etanol, kemudian didispersikan menggunakan sonikasi selama 15 menit. Campuran filler selanjutnya ditambahkan ke dalam elastomer base Sylgard 184 beserta Aluminium Hydroxide (ATH) sebagai bahan tambahan, dan diaduk hingga homogen. Curing agent ditambahkan dengan perbandingan 10:1 terhadap elastomer base.

Larutan komposit yang telah homogen dilapiskan pada substrat kaca berukuran 1 cm × 1 cm menggunakan metode spin coating pada kecepatan 1000 rpm selama 30 detik, kemudian dikeringkan (curing) pada suhu 80 °C selama 2 jam. Sampel yang telah terbentuk kemudian diberi perlakuan panas pada lima variasi temperatur, yaitu 25 °C (kontrol), 50 °C, 75 °C, 100 °C, dan 125 °C, masing-masing selama satu jam untuk mengetahui pengaruh temperatur terhadap sifat hidrofobik komposit (Ferbi et al., 2016).

Pengukuran sudut kontak dilakukan dengan metode sessile drop, yaitu meneteskan air pada permukaan sampel menggunakan pipet tetes, kemudian memotret tetesan menggunakan kamera pada kondisi pencahayaan yang cukup agar hasil foto terlihat jelas (T. A. Putri et al., 2018). Hasil foto tetesan selanjutnya dianalisis menggunakan perangkat lunak ImageJ dengan tool drop analysis LB-ADSA, yaitu dengan menarik garis singgung pada kedua sisi tetesan air untuk menentukan besar sudut kontak yang terbentuk. Pengukuran dilakukan sebanyak tiga kali pengulangan pada setiap variasi temperatur untuk memperoleh nilai rata-rata dan simpangan baku menggunakan persamaan berikut:

$$\bar{x} = \sum x_i / n \quad \text{dan} \quad s = \sqrt{[\sum (x_i - \bar{x})^2 / (n - 1)]}$$

$\bar{x}$ adalah nilai rata-rata sudut kontak, x_i adalah nilai sudut kontak pada setiap pengulangan, n adalah jumlah pengulangan, dan s adalah simpangan baku. Permukaan dikategorikan bersifat hidrofobik apabila memiliki sudut kontak (θ) lebih besar dari 90°.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengukuran sudut kontak dilakukan menggunakan perangkat lunak ImageJ, dimana nilai sudut kontak diperoleh secara langsung dari hasil analisis citra tetesan air pada permukaan sampel. Pengujian dilakukan pada lima variasi temperatur, yaitu 25 °C, 50 °C, 75 °C, 100 °C, dan 125 °C, dengan tiga kali pengulangan pada setiap variasi. Suatu permukaan dikatakan hidrofobik apabila memiliki sudut kontak $\theta > 90^\circ$, dimana semakin besar nilai sudut kontak, maka semakin tinggi sifat hidrofobik yang dimiliki oleh permukaan tersebut. Data hasil pengukuran sudut kontak pada masing-masing pengulangan ditampilkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Data hasil pengukuran sudut kontak pada masing-masing pengulangan.

Temperatur (°C)	Ulangan 1	Ulangan 2	Ulangan 3
25	102,8°	102,9°	103,4°
50	104,0°	104,3°	104,8°
75	105,2°	105,6°	105,6°
100	108,0°	108,7°	108,8°
125	101,1°	101,4°	101,6°

Rata-rata sudut kontak dari ketiga pengulangan pada masing-masing variasi temperatur, beserta simpangan bakunya, dirangkum pada Tabel 2.

Tabel 2. Data hasil pengukuran sudut kontak pada masing-masing variasi temperatur.

Temperatur (°C)	Sudut Kontak Rata-rata	Kategori
25	$101,9^\circ \pm 0,55^\circ$	Hidrofobik
50	$102,2^\circ \pm 0,96^\circ$	Hidrofobik
75	$103,4^\circ \pm 0,35^\circ$	Hidrofobik
100	$107,7^\circ \pm 1,02^\circ$	Hidrofobik (optimum)
125	$100,2^\circ \pm 0,42^\circ$	Hidrofobik (menurun)

Berdasarkan hasil pengujian sudut kontak, pengujian ini dilakukan untuk melihat seberapa besar sifat hidrofobik atau kemampuan menolak air dari permukaan komposit PDMS–silika sekam padi–graphene oxide pada berbagai variasi temperatur. Dari hasil yang diperoleh, sudut kontak meningkat secara bertahap yaitu sebesar $101,9^\circ$ pada temperatur 25 °C, $102,2^\circ$ pada temperatur 50 °C, $103,4^\circ$ pada temperatur 75 °C, hingga mencapai nilai tertinggi sebesar $107,7^\circ$ pada temperatur 100 °C. Peningkatan ini disebabkan oleh terbentuknya struktur permukaan mikro-nano yang semakin optimal seiring naiknya temperatur, sehingga kekasaran permukaan yang terbentuk meningkatkan efek hidrofobik material (Zeng, 2021).. Seluruh nilai sudut kontak yang diperoleh berada di atas 90° , yang mengindikasikan bahwa semua sampel pada variasi temperatur yang digunakan bersifat hidrofobik.

Pada temperatur 125 °C nilai sudut kontak menurun hingga 100,2°. Penurunan ini disebabkan oleh sintering parsial dan coalescence antarpartikel yang terjadi pada temperatur tersebut, sehingga distribusi partikel menjadi tidak merata dan kekasaran permukaan mikro-nano yang sebelumnya mendukung sifat hidrofobik justru berkurang (Ferbi et al., 2016). Akibatnya, kestabilan morfologi permukaan komposit menurun, dan hal ini secara langsung berdampak pada turunnya kemampuan menolak air. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa peningkatan temperatur sintesis memang menjadi penyebab menguatnya sifat tolak air, tetapi hanya sampai pada batas optimum, yakni pada temperatur 100 °C; melewati batas tersebut, mekanisme sintering justru menjadi penyebab menurunnya sifat hidrofobik.

Peningkatan sudut kontak seiring meningkatnya temperatur sintesis hingga titik optimum sejalan dengan penelitian yang menemukan bahwa struktur permukaan mikro-nano berperan penting dalam menciptakan sifat hidrofobik pada komposit berbasis silika dan PDMS (T. A. Putri et al., 2018).. Kombinasi antara silika dan PDMS juga dilaporkan pada penelitian lain yang melapisi PDMS/silika dari sekam padi pada permukaan kaca dan memperoleh sudut kontak sekitar 111,4° (Nehan et al., 2023).. Secara keseluruhan, data ini menunjukkan bahwa temperatur 100 °C merupakan temperatur sintesis optimal, karena pada titik inilah kesetimbangan antara pembentukan kekasaran permukaan dan pencegahan sintering tercapai secara bersamaan.

KESIMPULAN

Variasi temperatur perlakuan panas berpengaruh signifikan terhadap sifat hidrofobik komposit PDMS-silika sekam padi-graphene oxide. Kenaikan temperatur sintesis menyebabkan terbentuknya struktur permukaan mikro-nano yang semakin optimal, sehingga sudut kontak meningkat secara bertahap dari 101,9° pada 25 °C hingga mencapai nilai optimum 107,7° pada temperatur 100 °C. Namun, pada temperatur tertinggi yang diuji (125 °C), degradasi termal menyebabkan sintering parsial dan gangguan morfologi permukaan sehingga sudut kontak menurun menjadi 100,2°. Meskipun demikian, seluruh sampel pada semua variasi temperatur tetap tergolong bersifat hidrofobik ($\theta > 90^\circ$), dengan temperatur 100 °C sebagai kondisi sintesis yang paling optimum dalam meningkatkan sifat tolak air komposit.

REFERENSI

- Ariati, R., Sales, F., Souza, A., Lima, R. A., & Ribeiro, J. (2021). Polydimethylsiloxane composites characterization and its applications: A review. *Journal Polymers*, 13(23), 1–21. <https://doi.org/10.3390/polym13234258>
- Emiliah. (2025). *Pengaruh variasi Konsentrasi Silika Dari Sekam Padi Pada Lembaran PDMS Terhadap Sifat Hidrofobik Dan Resistansi Isolator Listrik*.
- Ferbi, A., Arief, J., Hakim, R., & Indonesia, S. (2016). Pengaruh Temperatur Perlakuan Panas Pada Lapisan Hydrophobic Komposit PDMS / SiO₂. *Jurnal Sains Dan Seni ITS*, 5(1), 1–5.
- Han, R., Li, Y., Zhu, Q., & Niu, K. (2022). Research on the preparation and thermal stability of silicone rubber composites: A review. *Journal Elsevier*, 8(October 2021), 100249. <https://doi.org/10.1016/j.jcomc.2022.100249>
- Magu'ga, S. (2023). Pengaruh difusi air terhadap dielektrik dan hidrofobik pada material elastomer silikon. *Accident Analysis and Prevention*, 183(2), 153–164.
- Nehan, P. Z. Z., Akbar, A. A., Karim, M. I. N., Fahriza, R. A., & Zainuri, M. (2023). Synthesis

- of Silica from Rice Husk Waste for Hydrophobic Material as an Anti-Water Coating for Eyeglasses. *Jurnal Fisika Dan Aplikasinya*, 19(2), 44. <https://doi.org/10.12962/j24604682.v19i2.15721>
- Ning, K., Lu, J., Jiang, Z., Xie, P., Feng, T., Hu, J., Fu, Z., & Tang, Z. (2023). Aging characteristics and lifespan prediction for composite insulator silicone rubber in a mountainous region environment. *Polymer Testing*, 122(March), 108023. <https://doi.org/10.1016/j.polymertesting.2023.108023>
- Sethi, S. K., & Manik, G. (2018). Recent Progress in Super Hydrophobic / Hydrophilic Self-Cleaning Surfaces for Various Industrial Applications : A Review. *Polymer-Plastics Technology and Engineering*, 0(0), 1–21. <https://doi.org/10.1080/03602559.2018.1447128>
- Wente, Himma, N. F., & Sofiatun Anisah, N. P. (2015). *Membran SuperHidrofobik*. Diklat Departemen Teknik Kimia Institut Teknologi Bandung.
- Zeng, Q. (2021). Nanoscale Review on the recent development of durable superhydrophobic materials for practical applications. *The Royal Society of Chemistry*, 11734–11764. <https://doi.org/10.1039/d1nr01936h>