

**PENGARUH VARIASI KONSENTRASI SILIKA DARI SEKAM
PADI PADA LEMBARAN PDMS TERHADAP SIFAT HIDROFOBİK
DAN RESISTANSI ISOLASI LISTRIK**



EMILIAH

NIM. 21034009/2021

**PROGRAM STUDI FISIKA
DEPARTEMEN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS NEGERI PADANG**

2025

**PENGARUH VARIASI KONSENTRASI SILIKA DARI SEKAM
PADI PADA LEMBARAN PDMS TERHADAP SIFAT HIDROFOBİK
DAN RESISTANSI ISOLASI LISTRIK**

SKRIPSI

Diajukan sebagai satu persyaratan guna memperoleh gelar sarjana sains (SI)



Oleh :

EMILIAH

NIM. 21034009/2021

PROGRAM STUDI FISIKA

DEPARTEMEN FISIKA

FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM

UNIVERSITAS NEGERI PADANG

2025

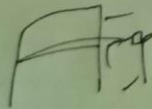
PERSETUJUAN SKRIPSI

**PENGARUH VARIASI KONSENTRASI SILIKA DARI SEKAM PADI PADA
LEMBARAN PDMS TERHADAP SIFAT HIDROFOBİK DAN RESISTANSI
ISOLASI LISTRIK**

Nama : Emilian
NIM : 21034009
Program Studi : Fisika
Jurusan : Fisika
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

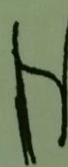
Padang, 02 September 2025

Mengetahui :
Ketua Departemen Fisika



Prof. Dr. Asrizal, M.Si
NIP. 19660603 1992 03 1 001

Disetujui Oleh :
Pembimbing



Prof. Dr. Ratnawulan, M.Si
NIP. 196901 20199303 2 002

PENGESAHAN LULUSAN UJIAN SKRIPSI

Nama : Emilian
NIM : 21034009
Program Studi : Fisika
Jurusan : Fisika
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

PENGARUH VARIASI KONSENTRASI SILIKA DARI SEKAM PADI PADA LEMBARAN PDMS TERHADAP SIFAT HIDROFOBİK DAN RESISTANSI ISOLASI LISTRIK

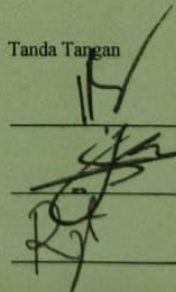
Dinyatakan lulus setelah dipertahankan di depan Tim Penguji Skripsi
Departemen Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Negeri Padang

Padang, 02 September 2025

Tim Penguji

	Nama
Ketua	: Prof. Dr. Ratnawulan, M.Si
Anggota	: Dra. Yenni Darvina, M.Si
Anggota	: Dr. Riri Jonuarti, M.Si

Tanda Tangan



SURAT PERNYATAAN TIDAK PLAGIAT

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Emilianh
NIM/TM : 21034009/2021
Program Studi : Fisika
Jurusan : Fisika
Fakultas : Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Dengan ini menyatakan bahwa Skripsi saya dengan judul: “Pengaruh Variasi Konsentrasi Silika Dari Sekam Padi Pada Lembaran PDMS Terhadap Sifat Hidrofobik Dan Resistansi Isolasi Listrik” adalah benar merupakan hasil karya saya dan bukan merupakan plagiat dari karya orang lain. Apabila suatu saat terbukti melakukan plagiat maka saya bersedia diproses dan menerima sanksi akademis maupun hukum sesuai dengan hukum dan ketentuan yang berlaku, baik di Institusi UNP maupun dimasyarakat dan hukum Negara.

Demikianlah pernyataan ini saya buat dengan penuh kesadaran dan rasa tanggung jawab sebagai anggota masyarakat ilmiah.

Saya yang menyatakan,



Emilianh
NIM. 21034009

Pengaruh Variasi Konsentrasi Silika Dari Sekam Padi Pada Lembaran PDMS Terhadap Sifat Hidrofobik Dan Resistansi Isolasi Listrik

Emiliah

ABSTRAK

Polydimethylsiloxane (PDMS) merupakan polimer dengan sifat hidrofobik tinggi dan stabilitas termal yang baik, sehingga banyak digunakan sebagai bahan isolator listrik. Namun, kestabilan sifat hidrofobiknya kurang terjaga dalam jangka panjang, sehingga perlu ditingkatkan melalui penambahan aditif seperti silika. Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh variasi konsentrasi silika dari sekam padi terhadap sifat hidrofobik dan resistansi isolasi lembaran PDMS untuk menghasilkan isolator yang lebih efektif dan ramah lingkungan.

Penelitian ini dilakukan dengan metode eksperimental menggunakan teknik spin coating untuk fabrikasi lembaran PDMS yang diberi variasi konsentrasi silika sebesar 1 wt%, 2 wt%, 3 wt%, 4 wt% dan 5 wt%. Karakterisasi dilakukan menggunakan Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR), X-Ray Diffraction (XRD), dan Scanning Electron Microscope (SEM), serta dilakukan pengukuran sudut kontak air dan resistansi isolasi menggunakan High Voltage Insulation Tester (HVIT) pada kondisi kering dan basah.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa kondisi optimum diperoleh pada variasi konsentrasi silika sebesar 4 wt%, dengan sudut kontak maksimum sebesar $141,3^\circ$ dan resistansi isolasi dalam kondisi kering sebesar 400 G Ω . Namun, pada kondisi basah setelah perendaman 24 jam, resistansi isolasi turun drastis mendekati 0 G Ω , yang disebabkan oleh penetrasi air ke dalam struktur PDMS dan celah antar partikel silika sehingga membentuk jalur konduktif. Hal ini menunjukkan bahwa material sangat baik sebagai isolator pada kondisi kering, tetapi kehilangan sifat isolatif jika terendam air dalam waktu lama.

Kata Kunci: PDMS, Silika, Hidrofobik, Resistansi Isolasi, Isolator Listrik.

The Effect of Silica Concentration Variations from Rice Husk on PDMS Sheets on Hydrophobic Properties and Electrical Insulation Resistance

Emiliah

ABSTRACT

Polydimethylsiloxane (PDMS) is a polymer with high hydrophobic properties and good thermal stability, making it widely used as an electrical insulator. However, its hydrophobic properties are not stable in the long term, so they need to be improved by adding additives such as silica. This study aims to analyze the effect of varying concentrations of silica from rice husks on the hydrophobic properties and insulation resistance of PDMS sheets to produce a more effective and environmentally friendly insulator.

This research was conducted using an experimental method with spin coating technique to fabricate PDMS sheets with silica concentrations of 1 wt%, 2 wt%, 3 wt%, 4 wt%, and 5 wt%. Characterization was performed using Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR), X-Ray Diffraction (XRD), and Scanning Electron Microscope (SEM), and measurements of water contact angle and insulation resistance were performed using a High Voltage Insulation Tester (HVIT) under dry and wet conditions.

The results showed that the optimum condition was obtained at a silica concentration of 4 wt%, with a maximum contact angle of 141.3° and insulation resistance in dry conditions of 400 GΩ. However, under wet conditions after 24 hours of immersion, the insulation resistance dropped dramatically to nearly 0 GΩ, due to water penetration into the PDMS structure and the gaps between silica particles, forming conductive pathways. This indicates that the material is excellent as an insulator under dry conditions but loses its insulating properties when immersed in water for a long time.

Keywords: PDMS, Silica, Hydrophobic, Insulation Resistance, Electrical Insulator.

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis haturkan ke hadirat Allah SWT atas limpahan rahmat dan karunia-Nya, yang telah memberikan kesehatan dan kesempatan sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Shalawat serta salam semoga senantiasa tercurahkan kepada Nabi Muhammad SAW, yang telah membawa umat manusia dari kegelapan menuju cahaya iman dan pengetahuan. Dengan penuh rasa syukur, penulis telah menyelesaikan skripsi yang berjudul " **Pengaruh Variasi Konsentrasi Silika Dari Sekam Padi Pada Lembaran PDMS Terhadap Sifat Hidrofobik Dan Resistansi Isolasi Listrik**". Skripsi ini ditulis untuk memenuhi salah satu persyaratan memperoleh gelar Sarjana Sains di Program Studi Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam.

Pada kesempatan ini, penulis ingin menyampaikan terima kasih yang mendalam kepada empat pribadi yang selalu menjadi sumber inspirasi dan kekuatan, Ibunda Amnah dan Kakak Ema Supriyani, Abdul Musa, yang senantiasa memberikan cinta, dukungan, serta doa tanpa henti. Tersusunnya skripsi ini tidak terlepas dari bantuan, bimbingan, dan dukungan dari berbagai pihak yang telah berkontribusi baik dalam bentuk tenaga, ide, maupun pemikiran. Oleh karena itu, dengan rasa hormat dan terima kasih yang tulus, penulis ingin menyampaikan penghargaan kepada:

1. Ibu Prof. Dr. Ratnawulan, M.Si, dosen pembimbing skripsi, yang telah dengan sabar meluangkan waktu, tenaga, pikiran, moril dan material untuk membimbing penulis dalam penyusunan skripsi ini.

2. Ibu Yenni Darvina, M.Si, dan Ibu Riri Jonuarti, S.Pd, M.Si, selaku dosen penguji.
3. Bapak Prof. Dr. Asrizal, M.Si, selaku Ketua Departemen Fisika dan pembimbing akademik, yang selalu memberikan arahan dan bimbingan dengan penuh kesabaran. .
4. Bapak Dr. Harman Amir, S.Si, M.Si, Ketua Prodi Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Padang.
5. Kepala Laboratorium Fisika Material dan Kimia UNP, yang telah memberikan izin serta fasilitas untuk melaksanakan penelitian ini.
6. Kepala Laboratorium PLN UP3 Solok, yang telah memberikan izin serta fasilitas untuk melaksanakan penelitian ini.
7. Teman-teman satu penelitian: Lidya Lucyana Erman, Velani Vebiola serta teman-teman dari KBK Material dan Biofisika, yang senantiasa memberikan dukungan dan semangat
8. Sahabat-sahabat seperjuangan: Nurahmadani, Selvi Umijah, dan Audia Ulvaq, yang selalu bersama dalam suka dan duka meraih gelar sarjana.
9. Semua pihak yang telah berkontribusi dalam penyelesaian skripsi ini, yang tidak dapat disebutkan satu per satu

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan. Semoga skripsi ini dapat memberikan kontribusi yang berarti bagi penelitian selanjutnya dan bermanfaat bagi masyarakat luas.

Padang, 14 Juli 2025

Emiliah

Nim. 21034009

DAFTAR ISI

ABSTRAK.....	i
ABSTRACT	ii
KATA PENGANTAR.....	iii
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR GAMBAR.....	viii
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xii
BAB I PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang	1
B. Identifikasi Masalah.....	4
C. Batasan Masalah	4
D. Rumusan Masalah.....	5
E. Tujuan Penelitian	5
F. Manfaat Penelitian	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
A. Hidrofobik.....	7
B. Isolator Listrik.....	11
C. Resistansi	12
D. Polydimethylsiloxane (PDMS)	16
E. Sekam Padi.....	18
F. Silika SiO ₂	19
G. Metode Spin-Coating.....	21
H. Alat Karakterisasi	24
I. Penelitian Relevan	26
BAB III METODE PENELITIAN	34
A. Jenis Penelitian.....	34
B. Tempat Dan Waktu Penelitian	35

C. Variabel Penelitian	35
D. Prosedur Penelitian	36
E. Pelaksanaan Penelitian.....	43
F. Tahap Pengumpulan Foto Sudut Kontak	52
G. Karakterisasi Pada Sampel	52
H. Tahap Pengukuran Sudut Kontak.....	53
I. Pengujian Scanning Elektron Microscope (SEM)	55
J. Pengujian Resistansi Isolasi Listrik Dalam Kondisi Kering dan Basah.....	57
K. Tahap Pengumpulan Data.....	61
L. Pengujian dan Analisis Data	62
M. Diagram Alur Penelitian	67
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	68
A. Hasil Data.....	68
B. Analisis Data.....	86
C. Pembahasan.....	95
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	103
A. Kesimpulan	103
B. Saran	103
DAFTAR PUSTAKA.....	105
LAMPIRAN	111

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
Gambar 1. Penampakan tetesan air pada permukaan daun padi. (Putri et al., 2023)	8
Gambar 2. Kondisi dan sifat tetesan air pada permukaan (Zhang et al., 2022).....	9
Gambar 3. (a) Model Young (b) Model Wenzel (c) Model Cassie-Baxter (Ran et al., 2019).....	9
Gambar 4. Alat HVIT	16
Gambar 5. Struktur Kimia PDMS Gambar 6. Rumus Kimia PDMS	17
Gambar 7. Abu Sekam Padi (Sofiana, 2018).....	19
Gambar 8. Struktur atom Silika (SiO ₂)	20
Gambar 9. Abu Sekam Padi Hasil Pembakaran Sekam Padi	21
Gambar 10. Proses pembuatan lapisan dengan metode <i>spin coating</i> (Mustafa & Jameel, 2021).....	24
Gambar 11. Spektrum FTIR Membran PDMS (Hamouni et al., 2019)	26
Gambar 12. SEM dari a SA asli (0% % TMCS) dan b 10% TMCS SA.....	27
Gambar 13. Spektra FTIR dari SA sampel TMCS yang berbeda perlakuan.....	27
Gambar 14. Tetesan air pada komposit terpilih PDMS-SiO ₂ selama pengujian sudut kontak.....	29
Gambar 15. Jumlah ikatan-H dalam berbagai sistem nanosilika/PDMS.....	31
Gambar 16. Kurva tegangan versus regangan untuk komposit PDMS yang dikeraskan dengan penambahan baru menggunakan larutan nano-silika dan resin silikon MQ. (Chen et al., 2015)	32
Gambar 17. Alat karakterisasi SEM	37
Gambar 18. Alat karakterisasi FTIR.....	37
Gambar 19. Alat karakterisasi XRD.....	37

Gambar 20. Alat HVIT	38
Gambar 21. Oven.....	38
Gambar 22. Timbangan digital.....	39
Gambar 23. Spin coater	39
Gambar 24. Wadah	40
Gambar 25. Piring petri	40
Gambar 26. Gelas ukur.....	40
Gambar 27. Pipet tetes.....	41
Gambar 28. Sendok spatula	41
Gambar 29. Kaca berukuran 1cm ²	41
Gambar 30. Polydimethylsiloxane (PDMS).....	42
Gambar 31. Abu sekam padi	42
Gambar 32. Cairan heksana.....	43
Gambar 33. Larutan PDMS	47
Gambar 34. Persiapan substrat	47
Gambar 35. Proses spin coating	48
Gambar 36. Substrat yang telah dilapisi PDMS	48
Gambar 37. Proses curing lembaran PDMS	49
Gambar 38. Sampel pada suhu ruang	49
Gambar 39. Partikel silika yang akan digunakan	49
Gambar 40. Pelarutan heksana dan partikel silika.....	50
Gambar 41. Pelapisan lembaran PDMS dengan partikel silika.....	50
Gambar 42. Proses curing lembaran PDMS yang telah dilapisi silika.....	51
Gambar 44. Tampilan Software ImageJ	53

Gambar 45. Tampilan pengaturan sebelum pengukuran sudut kontak di software ImageJ.....	54
Gambar 46. Tampilan Untuk Petunjuk tahapan drop analysis sudut kontak.....	54
Gambar 47. Tampilan Hasil Pengukuran sudut kontak Menggunakan ImageJ ...	55
Gambar 48. Tampilan Set Skala	56
Gambar 49. Tampilan petunjuk threshold	56
Gambar 50. Tampilan pengaturan threshold	57
Gambar 51. Tampilan hasil pengukuran ukuran partikel menggunakan software ImageJ.....	57
Gambar 52. Persiapan sampel dan alat pengujian	58
Gambar 53. Penyambungan kabel uji.....	59
Gambar 54. Pengaturan tegangan.....	59
Gambar 55. Tampilan pelaksanaan pengujian.....	60
Gambar 56. Tampilan hasil dalam kondisi kering.....	61
Gambar 57. Tampilan hasil dalam kondisi basah.....	61
Gambar 58. Pengukuran sudut kontak pada variasi konsentrasi silika 1 wt%	68
Gambar 59. Pengukuran sudut kontak pada variasi konsentrasi silika 2 wt%	69
Gambar 60. Pengukuran sudut kontak pada variasi konsentrasi silika 3 wt%	70
Gambar 61. Pengukuran sudut kontak pada variasi konsentrasi silika 4 wt%	71
Gambar 62. Pengukuran sudut kontak pada variasi konsentrasi silika 4 wt%	72
Gambar 63. Pengujian XRD Pada Variasi Konsentrasi Silika 1 wt%.....	74
Gambar 64. Pengujian XRD Pada Variasi Konsentrasi Silika 2 wt%.....	74
Gambar 65. Pengujian XRD Pada Variasi Konsentrasi Silika 3 wt%.....	75
Gambar 66. Pengujian XRD Pada Variasi Konsentrasi Silika 4 wt%.....	76
Gambar 67. Pengujian FTIR Pada Variasi Konsentrasi Silika 1 wt%.....	77

Gambar 68. Pengujian FTIR Pada Variasi Konsentrasi Silika 2 wt%.....	77
Gambar 69. Pengujian FTIR Pada Variasi Konsentrasi Silika 3 wt%.....	78
Gambar 70. Pengujian FTIR Pada Variasi Konsentrasi Silika 4 wt%.....	79
Gambar 71. Morfologi SEM Pada Variasi Konsentrasi Silika 1 wt%.....	80
Gambar 72. Morfologi SEM Pada Variasi Konsentrasi Silika 2 wt%.....	80
Gambar 73. Morfologi SEM Pada Variasi Konsentrasi Silika 3 wt%.....	81
Gambar 74. Morfologi SEM Pada Variasi Konsentrasi Silika 4 wt%.....	82
Gambar 75. Hasil Grafik dari pengujian Sudut Kontak	87
Gambar 76. Hasil Grafik dari pengujian XRD	89
Gambar 77. Data spektrum hasil pengujiann FTIR.....	90
Gambar 78. Grafik ukuran partikel SEM	92
Gambar 79. Grafik hubungan konsentrasi silika terhadap resistansi isolasi listrik PDMS dalam kondisi kering dan basah.....	94

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
Tabel 1. Kandungan silika dalam produk sampung padi.	18
Tabel 2. Komposisi sekam padi beserta zat organiknya.....	19
Tabel 3. Hasil sudut kontak air dan resistivitas volumetrik untuk komposit terpilih PDMS-SiO ₂	30
Tabel 4. Data hasil pengukuran sudut kontak pada variasi konsentrasi silika 1 wt% menggunakan software ImageJ	69
Tabel 5. Data hasil pengukuran sudut kontak pada variasi konsentrasi silika 2 wt% menggunakan software ImageJ	70
Tabel 6. Data hasil pengukuran sudut kontak pada variasi konsentrasi silika 3 wt% menggunakan software ImageJ	71
Tabel 7. Data hasil pengukuran sudut kontak pada variasi konsentrasi silika 4 wt% menggunakan software ImageJ.	72
Tabel 8. Data hasil pengukuran sudut kontak pada variasi konsentrasi silika 5 wt% menggunakan software ImageJ.	73
Tabel 9. Menunjukkan data ukuran rata-rata partikel silika pada lembaran PDMS yang telah dimodifikasi	82
Tabel 10. Hasil pengujian resistansi isolasi listrik pada lembaran PDMS dengan konsentrasi silika 1 wt%.	83
Tabel 11. Hasil pengujian resistansi isolasi listrik pada lembaran PDMS dengan konsentrasi silika 2 wt%.	84
Tabel 12. Hasil pengujian resistansi isolasi listrik pada lembaran PDMS dengan konsentrasi silika 3 wt%.	85
Tabel 13. Hasil pengujian resistansi isolasi listrik pada lembaran PDMS dengan konsentrasi silika 4 wt%.	86

Tabel 14. Data hasil pengukuran sudut kontak berbagai macam variasi konsentrasi.	87
Tabel 15. Data Hasil Pengujian XRD dengan variasi konsentrasi silika.....	89
Tabel 16. Data hasil pengukuran resistansi isolasi listrik berbagai konsentrasi..	93

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Data pengukuran sudut kontak.....	111
Lampiran 2. Data XRD.....	111
Lampiran 3. Grafik Ftir	112
Lampiran 4. Data hasil SEM dengan perbesaran 10.000x	112
Lampiran 5. Proses Pengujian Resistansi	113

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Dalam dunia ketenagalistrikan, bahan polimer kini semakin banyak dipilih sebagai bahan isolator listrik. Polimer memiliki keunggulan seperti bobot yang ringan, tahan terhadap bahan kimia, fleksibel, dan mudah dibuat. Beberapa bahan polimer yang umum digunakan sebagai isolator adalah silicone rubber, resin epoksi, dan polydimethylsiloxane (PDMS). Pemilihan bahan isolator yang tepat sangat penting agar sistem listrik tetap aman, awet, dan efisien.

Silicone rubber sering digunakan pada isolator luar ruangan karena sifatnya yang tahan air (hidrofobik), lentur, serta tahan terhadap sinar matahari dan polusi (Wang et al., 2021; Zhou et al., 2022). Namun, dalam jangka panjang, silicone rubber dapat mengalami kerusakan karena paparan sinar ultraviolet, hujan asam, dan polutan industri, yang menyebabkan menurunnya kemampuan isolasi (Zhang et al., 2022; Liu et al., 2020). Selain itu, seiring waktu sifat mekaniknya juga bisa melemah akibat retak-retak kecil.

(Menurut Harun et al., 2020) Saat ini, isolator polimer berbahan dasar resin epoksi banyak digunakan pada jaringan distribusi listrik. Namun isolator berbahan resin epoksi memiliki beberapa kelemahan yaitu pada kondisi lingkungan ekstrem, rentan mengalami degradasi akibat paparan sinar ultraviolet, mudah terkontaminasi polutan, dan mengalami penurunan sifat hidrofobik seiring waktu penggunaan. Hal ini mengakibatkan meningkatnya arus bocor, terbentuknya jejak atau alur kecil di permukaan isolator dan

lompatan listrik yang berpotensi mengganggu kelanjutan penyaluran energi listrik. Selain itu, biaya perawatan yang tinggi dan umur pakai yang relatif singkat menjadi pertimbangan untuk mencari pilihan material isolator yang lebih baik. Polydimethylsiloxane (PDMS) hadir sebagai material pilihan yang menjanjikan karena memiliki keunggulan yang memiliki sifat hidrofobik, ketahanan yang baik terhadap degradasi ultraviolet, ketahanan tinggi terhadap kontaminan, serta umur pemakaian yang lebih panjang.

Polydimethylsiloxane (PDMS) merupakan polimer yang dikenal karena sifat hidrofobiknya yang tinggi, sehingga sangat cocok untuk aplikasi yang memerlukan ketahanan terhadap air dan kelembapan. PDMS adalah golongan polimer organik/anorganik hibrida yang dapat digunakan sebagai pelindung peralatan tegangan tinggi karena memiliki stabilitas termal dan ketahanan terhadap oksidasi yang tinggi, bersifat hidrofobik, serta proses pembuatannya relatif cepat (Wellia et al., 2020). Pengembangan lembaran PDMS menjadi fokus penelitian karena memiliki beberapa keunggulan seperti kemudahan dalam proses pengaplikasian, mudah dalam mengontrol ketebalan, dan distribusi material yang mudah merata pada permukaan. (Dari penelitian Vallabhuneni, 2018) menunjukkan bahwa konsentrasi PDMS memiliki pengaruh penting terhadap sifat hidrofobik material. Secara umum, dengan meningkatnya konsentrasi PDMS, sudut kontak air cenderung meningkat, yang menandakan adanya peningkatan hidrofobisitas. Hal ini disebabkan karena konsentrasi yang lebih tinggi dapat menghasilkan permukaan yang lebih halus, yang dapat mengurangi energi permukaan dan meningkatkan sudut kontak.

Meskipun demikian, sifat hidrofobik PDMS tidak cukup stabil untuk aplikasi jangka panjang, khususnya pada kondisi lembap atau terendam air, sehingga diperlukan modifikasi tambahan guna memperkuat kinerjanya sebagai isolator.

Selain konsentrasi PDMS, penambahan silika juga dapat mempengaruhi sifat hidrofobik dari lembaran yang dihasilkan. Silika dapat meningkatkan kekasaran permukaan pada skala mikro/nano dan mengurangi energi permukaan material, sehingga saling melengkapi dan dapat meningkatkan sudut kontak air dan sifat hidrofobik (Putri & Munasir, 2023). Interaksi antara PDMS dan silika dapat menghasilkan morfologi permukaan yang istimewa, tergantung pada komposisi serta kondisi pembuatan lembaran (Yuan et al., 2018).

Dalam pembuatan isolator berbasis lembaran PDMS, dapat digunakan silika nabati dari berbagai sumber seperti bambu, tongkol jagung, dan sekam padi. Di antara ketiga sumber tersebut, silika sekam padi lebih mudah diperoleh baik melalui pembakaran maupun ekstraksi, dibandingkan dengan silika sintesis dan mineral yang memerlukan biaya cukup tinggi dan sulit untuk diekstraksi. (Berdasarkan penelitian Harimu et al., 2019 & Falaah et al., 2016) menunjukkan bahwa sekam padi mengandung silika aktif dengan kadar cukup tinggi 87-97%. Tingginya kandungan silika dalam sekam padi ini menjadikannya sebagai material pilihan yang sangat layak untuk menggantikan silika komersial dalam pembuatan isolator berbasis PDMS yang lebih ekonomis dan ramah lingkungan.

Meskipun telah banyak penelitian tentang penggunaan PDMS untuk isolator listrik, optimasi konsentrasi PDMS dalam bentuk lembaran untuk mencapai

sifat hidrofobik yang optimal masih memerlukan kajian lebih lanjut. Beberapa penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa konsentrasi PDMS mempengaruhi sudut kontak dan kekasaran permukaan, namun belum ada studi komprehensif yang mengkaji pengaruh konsentrasi terhadap sifat hidrofobik lembaran PDMS dengan penambahan silika dari sekam padi.

Berdasarkan uraian sebelumnya, maka penulis mengangkat judul penelitian pengaruh variasi konsentrasi silika dari sekam padi pada lembaran PDMS terhadap sifat hidrofobik dan resistansi isolasi listrik. Hasil penelitian ini diharapkan mampu menjadi referensi dan acuan untuk penelitian berikutnya, serta lembaran PDMS dengan tambahan silika sekam padi yang dihasilkan dapat diaplikasikan sebagai pelapis pada permukaan isolator listrik.

B. Identifikasi Masalah

Dari berbagai latar belakang yang telah dijelaskan, maka berikut ini adalah identifikasi masalah diantaranya:

1. Lembaran Polydimethylsiloxane (PDMS) kurang efektif dalam peningkatan kinerja isolator listrik.
2. Belum diketahui variasi konsentrasi yang optimal dengan lembaran Polydimethylsiloxane (PDMS) untuk Peningkatan Kinerja isolator Listrik.

C. Batasan Masalah

Agar penelitian yang dilakukan lebih terfokus, maka perlu diketahui beberapa batasan masalah dalam penelitian ini diantaranya:

1. Variasi konsentrasi larutan silika yang diaplikasikan pada lembaran Polydimethylsiloxane (PDMS) adalah 1 wt%, 2 wt%, 3 wt%, dan 4 wt%.
2. Bahan utama yang digunakan dalam penelitian ini lembaran Polydimethylsiloxane, silika dari abu sekam padi.
3. Metode yang digunakan adalah metode spin coating
4. Alat yang digunakan dalam melakukan karakterisasi yaitu SEM, XRD, FTIR.
5. Pengukuran kualitas permukaan lembaran Polydimethylsiloxane adalah sudut kontak air untuk menilai sifat hidrofobik permukaan, serta pengukuran resistansi isolasi dalam kondisi kering dan basah untuk menilai performa isolasi listrik lembaran PDMS.

D. Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang tersebut, maka didapatkan rumusan masalah yaitu:

1. Bagaimana pengaruh variasi konsentrasi bahan SiO₂ sekam padi pada lembaran Polydimethylsiloxane terhadap sifat hidrofobik yang dihasilkan?
2. Bagaimana pengaruh variasi konsentrasi bahan SiO₂ sekam padi pada lembaran Polydimethylsiloxane terhadap resistansi isolasi listrik dalam kondisi kering dan basah?

E. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Untuk mengetahui pengaruh variasi konsentrasi bahan SiO₂ sekam padi pada lembaran Polydimethylsiloxane terhadap sifat hidrofobik yang dihasilkan?
2. Untuk mengetahui pengaruh variasi konsentrasi bahan SiO₂ sekam padi pada lembaran Polydimethylsiloxane terhadap resistansi isolasi listrik dalam kondisi kering dan basah?

F. Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah:

1. Bagi penulis, penelitian ini sebagai syarat untuk menyelesaikan program Studi Fisika SI di Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Padang.
2. Dalam bidang kajian material dan biofisika, diharapkan penelitian ini dapat menjadi referensi terbaru dan meningkatkan pemahaman tentang pemanfaatan limbah pertanian seperti sekam padi dalam memodifikasi permukaan pada lembaran Polydimethylsiloxane (PDMS) untuk peningkatan kinerja isolator listrik.
3. Bagi peneliti lain, dapat menjadi referensi dan acuan untuk pengembangan penelitian selanjutnya.
4. Bagi pembaca, menambah pengetahuan dan wawasan dalam kajian sifat hidrofobik

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

1. Jika konsentrasi silika dinaikkan dari 1 wt% hingga 4 wt%, maka nilai sudut kontak meningkat dan sifat hidrofobik permukaan PDMS semakin baik, dengan sudut kontak tertinggi $141,3^\circ \pm 0,4^\circ$ pada 4 wt%. Namun, jika konsentrasi ditingkatkan hingga 5 wt%, maka sudut kontak justru menurun signifikan menjadi $113,5^\circ \pm 0,3^\circ$ akibat aglomerasi partikel silika, sehingga dapat disimpulkan bahwa konsentrasi optimum untuk memperoleh sifat hidrofobik terbaik terdapat pada konsentrasi 4 wt%.
2. Jika konsentrasi silika pada lembaran PDMS ditingkatkan hingga 4 wt%, maka resistansi isolasi listrik dalam kondisi kering mencapai nilai tertinggi sebesar 400 G Ω , yang menunjukkan bahwa peningkatan kandungan silika mampu memperbaiki kemampuan material dalam menghambat arus bocor. Namun, jika material direndam dalam air selama 24 jam, maka resistansi isolasi menurun drastis hingga mendekati 0 G Ω akibat infiltrasi air ke celah antarpartikel silika dan matriks PDMS. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa material memiliki kinerja sangat baik sebagai isolator listrik pada kondisi kering, tetapi sifat isolasinya menurun signifikan ketika terpapar air dalam waktu lama.

B. Saran

Berdasarkan penelitian ini diharapkan untuk penelitian selanjutnya dapat:

1. Dilakukan pengujian resistansi isolasi dengan durasi perendaman yang berbeda untuk mengetahui pengaruh waktu terhadap degradasi sifat isolasi.
2. Menambahkan lapisan pelindung tambahan atau modifikasi permukaan lain untuk meningkatkan ketahanan material terhadap kelembapan dan kondisi basah.

DAFTAR PUSTAKA

- Adi, A. S. (2018). Silika: Sifat dan Aplikasinya. *Journal of Material Science*.
- Agus, P. (2015). Sintesis dan aplikasi silika dari abu daun bambu petung (*Dendrocalamus asper* (Schult. f.) Backer ex Heyne) untuk mengurangi kadar ammonium dan nitrat pada limbah cair tahu (Doctoral dissertation, Universitas Islam Negeri Walisongo Semarang).
- Agustina, I. B. (2017). Sintesis Dan Karakterisasi Komposit Upr/Core-Shell $\text{SiO}_2@ \text{Fe}_3\text{O}_4$ Berbahan Dasar Sekam Padi Sebagai Material Penyerap Gelombang Mikro (Doctoral Dissertation, Universitas Negeri Jakarta).
- Ahmad, M.I., Sherazi, S. T. H., Sirajuddin, Mahesar, S. A., Hallam, N. D., & Khatri, A. (2018). Fabrication and Characterization of Superhydrophobic Cotton Fabric Coated with Silica Nanoparticles. *Journal of Textile Research*, 88(19), 2225–2235. <https://doi.org/10.1177/0040517517727376>
- Almunazar, F., Ratnawulan, R., Darvina, Y., & Jhora, F. (2025). Effect of SiO_2 /Chitosan Composition Variation on Functional Groups in Hydrophobic Cellulose Paper for Water/Oil Separation. *Journal of Experimental and Applied Physics*, 3(1).
- Amal, M. I. (2020). Kamus nanoteknologi: nanomanufaktur.
- AS, N. I. (2015). Fabrikasi Lapisan Nano Komposit PVA-TiO₂ Dengan Metode Spin coating Dan Karakterisasinya Sebagai Fotokatalis (Doctoral dissertation, Institut Technology Sepuluh Nopember).
- Cahyanto, H. N. (2025). *Buku Ajar Ilmu Biomedik Dasar*. IKBIS PRESS.
- Casnan, D., Andriyanto, H., & Sutrisno, H. (2020). Structural and electrical properties of silica materials from rice husks. *Journal of Physics: Conference Series*, 1524(1), 012045. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1524/1/012045>
- Castillo-Sierra, R., Oviedo-Trespalacios, O., Candelo, J. E., & Soto-Ortiz, J. D. (2018). Modeling leakage current of ceramic insulators subject to high pollution levels for improving maintenance activities. *Dyna*, 85(204), 364–371.
- Choudhary, O. P., & Ka, P. (2017). Scanning Electron Microscope: Advantages and Disadvantages in Imaging Components. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 6(5), 1877–1882. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2017.605.207>
- Cordoba, L., Martínez, J., & Vega, R. (2025). Enhancement of electrical insulation in PDMS-SiO₂ composites under humid conditions. *Journal of Polymer Science*, 61(2), 112–124. <https://doi.org/10.1016/j.polymer.2025.01.005>

- Darmadi, A. C., Kholistianingsih, K., & Yulianto, P. (2023). Analisis Tahanan Isolasi Pada Isolator Porselin Dan Polimer Terhadap Polutan Garam Di Gistet 500 Kv Adipala Cilacap. *Teodolita: Media Komunkasi Ilmiah di Bidang Teknik*, 23(2), 42–55. <https://doi.org/10.53810/jt.v23i2.455>
- Dhaneswara, D., Fatriansyah, JF, Situmorang, FW, & Haqoh, AN (2020). Sintesis silika amorf dari abu sekam padi: perbandingan metode pengasaman HCl dan CH₃COOH serta berbagai konsentrasi alkali. *Sintesis*, 11 (1), 200-208.
- Ellerbrock, R., Stein, M., & Schaller, J. (2022). Comparing amorphous silica, short-range-ordered silicates and silicic acid species by FTIR. *Scientific Reports*, 12, 11708. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-15882-4>
- Falaah, A. F., Cifriadi, A., & Kumoro, A. C. (2016). Produksi Silika Amorf Dari Sekam Padi Untuk Filler Barang Jadi Karet Menggunakan Fluidized Bed Combustor. *Warta Perkaretan*, 35(1), 77-88.
- Halim, Z. A. A., Awang, N., Ahmad, N., & Yajid, M. A. M. (2024). Effects of silane concentration on *hydrophobic* conversion of rice husk-derived silica aerogels prepared by supercritical drying. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 14(14), 15811–15821. <https://doi.org/10.1007/s13399-022-03710-8>
- Hanna, V., Yan, L., & Pervaiz, S. (2022). Nanocomposite films with enhanced mechanical properties via SiO₂ nanoparticle incorporation. *Polymer Chemistry*, 13(15), 2253–2265. <https://doi.org/10.1039/D2PY00321J>
- Harimu, L., Rudi, L., Haetami, A., & Santoso, G. A. P. (2019). Studi Variasi Konsentrasi NaOH dan H₂SO₄ Untuk Memurnikan Silika Dari Abu Sekam Padi Sebagai Adsorben Ion Logam Pb²⁺ dan Cu²⁺. *Indonesian Journal of Chemical Research*, 6(2), 81-87.
- Harun, Y., & Pratiwi, A. I. (2020). Karakteristik Dielektrik Isolator Polimer Resin Epoksi Berbahan Pengisi Abu Tongkol Jagung. 14.
- Hassabo, A., & Mohamed, A. (2019). Review of silicon-based materials for cellulosic fabrics with functional applications. *Journal of Textiles, Coloration and Polymer Science*, 0(0), 0–0. <https://doi.org/10.21608/jtcps.2019.18580.1030>
- Hutagalung, J. P. (2024). Analisis Arus Bocor Pada Isolator Polimer 20kv Akibat Radiasi Uv Dengan Variasi Sudut Pemaangan Dan Polutan.
- Liu, C., Li, J., & Wang, W. (2020). Degradation of silicone rubber materials under environmental stresses: A review. *Polymer Degradation and Stability*, 180, 109308. <https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2020.109308>
- Liu, J., Yao, Y., Li, X., & Zhang, Z. (2021). Fabrication of advanced *Polydimethylsiloxane*-based functional materials: Bulk modifications and surface functionalizations. *Chemical Engineering Journal*, 408, 127262. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2020.127262>

- Lv, C., Zhang, X., Niu, F., He, F., & Hao, P. (2017). From initial nucleation to the Cassie-Baxter state on condensed droplets on nano-textured superhydrophobic surfaces. *Scientific Reports*, 7 (1), 42752.
- Mayasari, F., Samman, F. A., Suyuti, A., Akil, Y. S., Salam, A. E. U., Gunadin, I. C., & Said, S. M. (2023). Pengenalan dan Penggunaan Instrumen Pengukuran untuk Meningkatkan Kompetensi Pengujian dan Pemeriksaan Instalasi Listrik pada Siswa SMK Neg. 4 Kabupaten Gowa. *JURNAL TEPAT: Teknologi Terapan untuk Pengabdian Masyarakat*, 6(2), 301-312.
- Mercimek, R., Akar, Ü., Şanlı, G. T., Özogul, B., Çelik, S., Moradi, O., & Koşar, A. (2025). On the Effects of 3D Printed Mold Material, Curing Temperature, and Duration on Polydimethylsiloxane (PDMS) Curing Characteristics for Lab-on-a-Chip Applications. *Micromachines*, 16(6), 684.
- Muhammad, F. F. (2024). Analisa Pengaruh Penambahan Bahan Nanoalumina Terhadap Sifat Arus Bocor dan Hidrofobisitas Isolator Bionanokomposit (Doctoral dissertation, Universitas Andalas).
- 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.
- Nandiyanto, A. B. D., Oktiani, R., & Ragadhita, R. (2019). How to read and interpret FTIR spectroscopy of organic material. *Indonesian Journal of Science & Technology*, 4(1), 97-118. <https://doi.org/10.17509/ijost.v4i1.15806>
- Nisa, D. F., & Putri, N. P. (2021). Sintesis Lapisan Tipis Soluble Pani Dopan Fumaric Acid Dan Karakteristiknya. *Jurnal Inovasi Fisika Indonesia (IFI)*, 10(3), 15-23.
- Nugraha, A. P. (2023). Analisis Uji Kelayakan Tahanan Isolasi Berbasis Indeks Polarisasi Dan Tangen Delta Pada Trafo Gi 150/20 Kv Pt. Apf (Doctoral Dissertation, Universitas Islam Sultan Agung).
- Nurhakim, L., & Rasyid, A. (2021). Analisis Pengaruh Pencemaran Lingkungan Terhadap Kinerja Isolator Pada Saluran Transmisi Tegangan Tinggi. *Jurnal Ilmiah Teknik Elektro*, 9(2), 89–98.
- Nuryadin, B. W. Catatan Kuliah-FI15752 Sains dan Teknologi Material Lunak.
- Ola, A. L. (2017). Pengaruh Abu Sekam Padi Sebagai Bahan Pengisi Untuk Pembuatan Tungku Rumah Tangga. *Jurnal Penelitian Teknologi Industri*, 6(1), 19-30.
- Prasetya, W., & Manggala, A. M. (2022). Analisis Kelayakan Elektrikal Material Resin Epoksi Silane Sebagai Material Isolator Tumpu Dengan Desain Dua Sirip Terpisah. *Electron Jurnal Ilmiah Teknik Elektro*, 3(2), 79-88.

- Pratiwi, N., Zulhadjri, Arief, S., Admi, & Wellia, DV (2020). Material pembersih mandiri berbasis pelapis superhidrofobik melalui metode sol-gel yang ramah lingkungan. *Jurnal Sains dan Teknologi Sol-Gel* , 96 (3), 669-678.
- Prayitno, T., & Wahyuni, S. (2021). Thin Film TiO₂nanorod-PDMS on Glass Substrate for Self-Cleaning Surface. *Indonesian Journal of Chemical Science*, 10(2), 118-128
- Priagusno, H., Masdiana, Z. R., Rezkika, S. I., & Novaliamda, S. (2020). Analisa Nilai Resistansi Isolasi Generator 200 MW Dengan Media Pendingin Hydrogen Dan Air Demin. *RELE (Rekayasa Elektrikal dan Energi): Jurnal Teknik Elektro*, 3(1), 5-10.
- Putri, A. R., & Munasir, M. (2023). Lapisan Superhidrofobik Berbasis Silika Sebagai Aplikasi Self-Cleaning. *Jurnal Inovasi Fisika Indonesia (IFI)*, 12(2), 66-81.
- Ran, M., Zhang, X., Yao, X., Song, J., Jiang, L., & Wang, J. (2019). Air Layer Stabilization on Hierarchical Superhydrophobic Surfaces. *Langmuir*, 35(13), 4577–4585. <https://doi.org/10.1021/acs.langmuir.8b03815>
- Rizka, F., & Sanjaya, H. (2023). Pengaruh DEA dan Waktu Dipping terhadap Nilai Band Gap Lapisan Tipis CuSnO₃. *MASALIQ*, 3(6), 1347-1356.
- Rizqi, A. I. (2016). Sintesis dan karakterisasi nanozeolit X dari abu sekam padi menggunakan variasi suhu hidrotermal (Doctoral dissertation, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim).
- Rohmah, M. (2021). Sintesis dan karakterisasi membran silika abu sekam padi untuk filtrasi fosfat pada limbah deterjen.
- RumiYanti, R., Wibowo, E., & Nugroho, A. (2025). Synthesis of rice husk–based mesoporous silica nanoparticles by facile calcination. *Scientific Reports*, 15(4), 1023–1035. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-95980-1>
- Ruwah Joto, Dhesah Kharisma, D., Tresna Umar Syamsuri, & Aly Imron. (2023). Pengaruh Efek Kontaminasi Isolator Keramik Terhadap Rugi Daya Saluran Udara Tegangan Tinggi. *Elposys: Jurnal Sistem Kelistrikan*, 10(3), 167–171. <https://doi.org/10.33795/elposys.v10i3.4222>
- Sakti, R. R., et al. (2018). Silika dari Abu Sekam Padi. *Journal of Agricultural Chemistry*.
- Sari, N. W., Fajri, M. Y., & Wilapangga, A. (2018). Analisis fitokimia dan gugus fungsi dari ekstrak etanol pisang goroho merah (*MUSA ACUMINATE* (L)). *Indonesian Journal of Biotechnology and Biodiversity*, 2(1).
- Sethi, V. K., & Manik, P. (2018). Influence of Surface Roughness on Contact Angle: A Review. *Particulate Science and Technology*, 36(1), 115–124. <https://doi.org/10.1080/02726351.2016.1262845>

- Setianingsih, T. (2018). Prinsip Dasar dan Aplikasi Metode Difraksi Sinar-X untuk Karakterisasi Material. Universitas Brawijaya Press.
- Shil'ko, S. V. (2018). When do I use weight percentage and when to use volume fraction in composites? ResearchGate. Retrieved from <https://www.researchgate.net/post/When-do-I-use-weight-percentage-and-when-to-use-volume-fraction-in-composites>
- Sofiana, R. (2018). Pengaruh Konsentrasi Natrium Karbonat (Na) Sebagai Aktivator Arang Aktif Sekam Padi Terhadap Penurunan Kadar Ion Cr (Vi) Pada Air (Doctoral dissertation, Universitas Muhammadiyah Semarang).
- Todkar, B. S., Deorukhkar, O. A., & Deshmukh, S. M. (2016). Extraction of silica from rice husk. *International Journal of Engineering Research and Development*, 12(3), 69-74.
- Utama, R. G. M. U. (2024). Pengujian Tahanan Isolasi Instalasi Penerangan Rumah Tangga Di Desa Air Merah, Kabupaten Rejang Lebong.
- Vallabhuneni, S., Kota, A. K., Popat, K., & Kipper, M. J. (2018). Superhydrophobic coatings for electrical insulators.
- Wahyuningsih, T. Sintesis Silika Xerogel dari Abu Sekam Padi.
- Wang, Y., Chen, G., & Du, B. (2021). Surface aging characteristics of outdoor silicone rubber insulators under multi-environmental stresses. *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, 28(5), 1800–1808. <https://doi.org/10.1109/TDEI.2021.009102>
- Yadav, S., Tiwari, N., & Kumar, S. (2021). Effect of silica nanoparticles on the mechanical and thermal properties of PVA-based nanocomposites. *Polymers*, 13(15), 2489. <https://doi.org/10.3390/polym13152489>
- Yasi, R. M., & Hadi, C. F. (2021). Pengaruh tegangan terhadap besar kuat arus listrik pada persamaan hukum ohm. *Journal Zetroem*, 3(1), 34-36.
- Yuan, H., Li, C., Yuan, L., & Li, Q. (2018). Fabrication of Superhydrophobic PDMS Surfaces with Customizable Adhesion by Controlling Surface Roughness. *Materials*, 11(1), 77. <https://doi.org/10.3390/ma11010077>
- Yusniati, Z., Pelawi, T., Armansyah, A., & Taufik, I. (2021). Pengukuran resistansi isolasi instalasi penerangan basement pada gedung rumah sakit grend mitra medika medan. Cetak) *Buletin Utama Teknik*, 16(3).
- Zeng, Y., Zheng, Z., Yang, D., Niu, Y., & Li, X. (2021). Reversible Wettability Transition Between Wenzel and Cassie-Baxter States on Hierarchical Superhydrophobic Surfaces. *Applied Surface Science*, 538, 148130. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2020.148130>
- Zhang, D., Zhang, Z., Tian, G., Liu, D., & Xiong, L. (2022). Wettability and Behavior of Water Droplets on Solid Surfaces: A Review. *Coatings*, 12(3), 301. <https://doi.org/10.3390/coatings12030301>

- Zhang, Y., Zhang, X., & Liu, H. (2022). Aging mechanisms and properties of silicone rubber insulators under natural environmental conditions. *Materials*, 15(14), 4962. <https://doi.org/10.3390/ma15144962>
- Zhou, Y., Chen, G., & Du, B. (2022). Hydrophobicity recovery mechanisms of PDMS materials under outdoor conditions. *Materials Chemistry and Physics*, 276, 125416. <https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2021.125416>