

**KORELASI EMISI SO₂ ERUPSI GUNUNG LEWOTOBI LAKI-LAKI
DENGAN PARAMETER CUACA DI WILAYAH KEPULAUAN NUSA
TENGGARA**

SKRIPSI

Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana Sains
Program Studi Fisika Kelompok Bidang Kajian Fisika Bumi



Disusun oleh:
Ripa Khodijah
2108073

**PROGRAM STUDI FISIKA
FAKULTAS PENDIDIKAN MATEMATIKA DAN
ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS PENDIDIKAN INDONESIA
BANDUNG**

2025

Ripa Khodijah, 2025
*KORELASI EMISI SO₂ ERUPSI GUNUNG LEWOTOBI LAKI-LAKI DENGAN PARAMETER CUACA DI
WILAYAH KEPULAUAN NUSA TENGGARA*
Universitas Pendidikan Indonesia | repository.upi.edu | perpustakaan.upi.edu

**KORELASI EMISI SO₂ ERUPSI GUNUNG LEWOTOBI LAKI-LAKI
DENGAN PARAMETER CUACA DI WILAYAH KEPULAUAN NUSA
TENGGARA**

Oleh

Ripa Khodijah

Sebuah skripsi yang diajukan untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Sarjana Sains Program Studi Fisika pada Fakultas Pendidikan Matematika dan
Ilmu Pengetahuan Alam

Ripa Khodijah

Universitas Pendidikan Indonesia

2025

©Hak Cipta Dilindungi Undang-undang.

Skripsi ini tidak boleh diperbanya seluruhnya atau sebagian, dengandicetak ulang,
difoto kopi atau cara lainnya tanpa izin dari penulis

ii

Ripa Khodijah, 2025

**KORELASI EMISI SO₂ ERUPSI GUNUNG LEWOTOBI LAKI-LAKI DENGAN PARAMETER CUACA DI
WILAYAH KEPULAUAN NUSA TENGGARA**

Universitas Pendidikan Indonesia | repository.upi.edu | perpustakaan.upi.edu

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

RIPA KHODIJAH

KORELASI EMISI SO_2 ERUPSI GUNUNG LEWOTOBI LAKI-LAKI
DENGAN PARAMETER CUACA DI WILAYAH KEPULAUAN NUSA
TENGGARA

Disetujui dan disahkan oleh:

Pembimbing I



Nanang Dwi Ardi, S.Si., MT.

NIP. 198012122005011002

Pembimbing II



Prof. Dr. Andi Suhandi, M.Si.

NIP. 196908171994031003

Mengetahui

Ketua Program Studi Fisika



Prof. Dr. Endi Suhendi, M.Si.

NIP. 197905012003121001

LEMBAR PERNYATAAN

Dengan ini saya penulis skripsi dengan judul “Korelasi Emisi SO₂ Hasil Erupsi Gunung Lewotobi Laki-laki Terhadap Parameter Cuaca di Wilayah Kepulauan Nusa Tenggara” menyatakan bahwa keseluruhan dari skripsi ini adalah benar-benar hasil yang saya buat sendiri. Saya tidak melakukan penjiplak ataupun pengutipan yang melanggar etika ilmu yang berlaku dalam masyarakat keilmuan. Atas pernyataan ini, saya siap menanggung risiko apabila di kemudian hari ditemukan adanya klaim keaslian atau pelanggaran keilmuan terhadap karya saya ini.

Bandung, 8 Juli 2025

Yang membuat Pernyataan

Ripa Khodijah

NIM. 2108073

KATA PENGANTAR

Dengan rasa syukur yang mendalam, penulis mengucapkan terima kasih kepada Allah SWT. atas anugerah dan petunjuk-Nya, sehingga skripsi ini berhasil diselesaikan. Semoga segala usaha yang telah dilakukan mendapatkan keberkahan dan ridha-Nya. Shalawat serta salam tak henti-hentinya penulis haturkan kepada Nabi Muhammad SAW, yang telah menjadi teladan dalam setiap langkah kehidupan.

Skripsi ini, yang berjudul "Korelasi Emisi SO_2 Erupsi Gunung Lewotobi Laki-laki Dengan Parameter Cuaca di Wilayah Kepulauan Nusa Tenggara", disusun sebagai bagian dari studi pada Program Studi Fisika, Fakultas Pendidikan Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Pendidikan Indonesia. Penelitian ini secara spesifik mengkaji hubungan atau korelasi antara konsentrasi gas sulfur dioksida (SO_2) yang dilepaskan akibat erupsi Gunung Lewotobi Laki-laki dengan berbagai parameter cuaca yang ada di wilayah Kepulauan Nusa Tenggara.

Penulis berharap bahwa karya ini tidak hanya menjadi bagian dari persyaratan akademik, tetapi juga dapat memberikan kontribusi nyata dalam dunia penelitian, khususnya di bidang klimatologi. Dengan segala kerendahan hati, penulis berharap skripsi ini dapat menjadi pijakan awal yang bermanfaat dalam mengembangkan penelitian lebih lanjut, serta memberikan inspirasi bagi siapa saja yang membaca dan mengkaji lebih dalam.

Bandung, 28 April 2025

Penulis

UCAPAN TERIMA KASIH

Penyusunan skripsi ini dapat terselesaikan berkat dukungan dan kontribusi berbagai pihak. Bantuan, bimbingan, pengetahuan, semangat, motivasi, dan doa yang diberikan sangat berarti bagi penulis. Oleh sebab itu, dengan segala hormat dan kerendahan hati, penulis secara khusus menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Nanang Dwi Ardi, S.Si., MT., selaku Pembimbing 1, atas dedikasi dan kesabarannya yang luar biasa dalam membimbing serta senantiasa memberikan solusi atas berbagai kendala yang muncul selama proses penulisan skripsi ini.
2. Prof. Dr. Andi Suhandi, M.Si., selaku Pembimbing 2, atas arahan, masukan, dan bimbingan berharga yang telah menuntun saya hingga skripsi ini berhasil diselesaikan.
3. Prof. Dr. Endi Suhendi, M.Si., selaku Ketua Program Studi Fisika, yang telah memberikan bimbingan, arahan, dan dukungan penuh selama saya menempuh studi.
4. Dosen-dosen Fisika, atas ilmu yang telah dibagikan, bimbingan yang tak henti, serta inspirasi yang senantiasa menemani perjalanan akademik saya.
5. Para laboran Fisika, atas bantuan dalam memfasilitasi praktikum dan penelitian, serta dedikasi dalam menjaga kelancaran seluruh kegiatan di laboratorium.
6. Seluruh staf dan sivitas akademika Universitas Pendidikan Indonesia, atas fasilitas, ilmu, dan lingkungan belajar yang kondusif yang telah disediakan selama masa studi saya.
7. Keluarga penulis yang tiada henti memberikan doa, dukungan moril dan materiil, yang menjadi modal terbesar serta kekuatan utama saya dalam menyelesaikan skripsi ini.

8. Teman seperjalanan, yaitu Isna, Salma, Devi, Diya, dan Riska, atas kebersamaan, semangat, dan dukungan tulus yang menjadi bagian penting dalam perjalanan akademik dan pribadi saya
9. Rekan-rekan seperjuangan Fisika C 2021 yang selalu kebersamai selama menjalani perkuliahan di Prodi Fisika.
10. Diri saya sendiri yang telah berusaha, bertahan, dan tidak menyerah hingga akhirnya mampu melalui fase skripsi ini. Semoga semangat ini terus menemani langkah di fase perjalanan berikutnya.
11. Kepada semua pihak yang tidak bisa disebutkan namanya satu persatu atas segala doa, dukungan, nasehat, bantuan, dan ilmu yang diberikan kepada penulis.

Semoga atas semua bentuk bantuan yang telah diberikan kepada penulis dapat dibalas berupa kebaikan oleh Allah azza wa jalla.

ABSTRAK

KORELASI EMISI SO₂ ERUPSI GUNUNG LEWOTOBI LAKI-LAKI DENGAN PARAMETER CUACA DI WILAYAH KEPULAUAN NUSA TENGGARA

Oleh

Ripa Khodijah

Aktivitas vulkanik Gunung Lewotobi Laki-laki yang meningkat hingga Status Level IV (AWAS) ditandai oleh pelepasan sulfur dioksida (SO₂) melebihi 10.000 ton/hari serta pembentukan kolom erupsi setinggi 8 km, yang secara potensial berdampak terhadap kondisi cuaca lokal. Penelitian ini bertujuan untuk menginvestigasi korelasi antara emisi SO₂ dan variabilitas parameter cuaca di wilayah Kepulauan Nusa Tenggara, mencakup temperatur permukaan, konsentrasi aerosol sulfat, ketebalan optik awan (Cloud Optical Thickness/COT), serta curah hujan. Analisis dilakukan dengan menerapkan metode Cross-Correlation Function (CCF) pada data satelit OMI, AIRS, MERRA-2, MODIS, dan GPM. Hasil analisis menunjukkan adanya hubungan positif antara peningkatan emisi SO₂ dan perubahan parameter atmosfer dengan rentang *lag time* serta koefisien korelasi yang bervariasi. Peningkatan suhu permukaan teramati +1 hari setelah puncak erupsi dengan koefisien korelasi sebesar 0.50. Konsentrasi aerosol sulfat mencapai puncaknya +16 hari kemudian dengan koefisien korelasi 0.60, diikuti oleh kenaikan ketebalan optik awan +21 hari dengan koefisien korelasi 0.39, serta peningkatan curah hujan +22 hari pasca-erupsi dengan koefisien korelasi 0.55. Temuan ini mengindikasikan kontribusi emisi SO₂ dalam memodifikasi kondisi cuaca lokal, yang penting untuk mitigasi bencana dan adaptasi iklim di wilayah rawan erupsi, serta memperkaya pemahaman dinamika atmosfer akibat aktivitas vulkanik.

Kata Kunci: Gunung Lewotobi Laki-laki, Emisi Sulfur Dioksida SO₂, Parameter cuaca, Kepulauan Nusa Tenggara, *Lag time*

ABSTRACT

CORRELATION OF SO₂ EMISSION FROM MOUNT LEWOTOBI LAKI-LAKI ERUPTIONS WITH WEATHER PARAMETERS IN THE LESSER SUNDA ISLANDS

By

Ripa Khodijah

The volcanic activity of Mount Lewotobi Laki-laki, which escalated to Level IV (AWAS) status, was characterized by the release of sulphur dioxide (SO₂) exceeding 10,000 tons per day and the formation of an eruption column reaching 8 km in height, potentially impacting local weather conditions. This study aims to investigate the correlation between SO₂ emissions and the variability of weather parameters across the Lesser Sunda Islands region, including surface temperature, sulfate aerosol concentration, cloud optical thickness (COT), and precipitation. The analysis was conducted using the Cross-Correlation Function (CCF) method applied to satellite data from OMI, AIRS, MODIS, MERRA-2 And GPM. The results indicate a positive relationship between increased SO₂ emissions and changes in atmospheric parameters, with varying lag times and correlation coefficients. A rise in surface temperature was observed one day after the peak eruption, with a correlation coefficient of 0.50. Sulphate aerosol concentration peaked 16 days later with a coefficient of 0.60, followed by an increase in cloud optical thickness after 21 days with a coefficient of 0.39, and enhanced precipitation 22 days post-eruption with a coefficient of 0.55. These findings suggest that SO₂ emissions contributed significantly to the modification of local weather conditions through associated atmospheric processes. This knowledge is essential for improving disaster risk mitigation and climate adaptation strategies in volcanic-prone regions and for advancing the scientific understanding of atmospheric dynamics influenced by large-scale volcanic activity.

Keywords: Mount Lewotobi Laki-laki, Sulfur dioxide SO₂ emission, Weather parameters, Lesser Sunda Islands, Lag time.

DAFTAR ISI

LEMBAR PERNYATAAN	iv
KATA PENGANTAR	v
UCAPAN TERIMA KASIH.....	vi
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	4
1.3. Tujuan Penelitian.....	4
1.4. Batasan Masalah.....	5
1.5. Manfaat Penelitian.....	5
BAB II KAJIAN PUSTAKA	7
2.1. Gunung Lewotobi Laki-laki	7
2.2. Siklus Emisi SO ₂ Vulkanik dari Gunung Lewotobi Laki-laki	8
2.3. Cuaca dan Komponennya.....	13
2.4. SO ₂ Serta Pengaruhnya Terhadap Atmosfer	14
2.5. Mikrofisika Awan.....	16
2.6. Pemanfaatan Satelit dalam Pemantauan Cuaca dan Sebaran SO ₂	19
BAB III METODE PENELITIAN.....	23
3.1. Waktu dan Tempat Penelitian	23

3.2. Prosedur penelitian	25
3.3. Perolehan Data Penelitian	28
3.4. Teknik Analisis Data	29
3.4.1. Analisis Interaksi Emisi SO ₂ dengan Parameter Cuaca	29
3.4.2. Analisis Korelasi Emisi SO ₂ terhadap Parameter Cuaca	29
3.4.3. Analisis Mekanisme Mikrofisika Awan.....	31
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	32
4.1. Interaksi Emisi SO ₂ dengan Parameter Cuaca.....	32
4.1.2. SO ₂ Terhadap Aerosol Sulfat	33
4.1.3. SO ₂ Terhadap Ketebalan Optik Awan (COT)	35
4.1.4. SO ₂ Terhadap Curah Hujan	36
4.2. Korelasi Lonjakan Emisi SO ₂ terhadap Parameter Cuaca.....	38
4.2.1. SO ₂ Terhadap Temperatur	38
4.2.2. SO ₂ Terhadap Aerosol Sulfat (SO ₄)	39
4.2.3. SO ₂ Terhadap Ketebalan Optik Awan (COT)	41
4.2.4. SO ₂ Terhadap Curah Hujan	43
4.3. Mekanisme Mikrofisika Awan	45
BAB V SIMPULAN, IMPLIKASI DAN REKOMENDASI	49
5.1. Simpulan.....	49
5.2. Implikasi	50
5.2. Rekomendasi	50
DAFTAR PUSTAKA	51
LAMPIRAN	59

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 (a) Peta Kepulauan Nusa Tenggara (b) Peta Topografi Gunung Lewotobi Laki-laki dan Sekitarnya	7
Gambar 2.2 Proses dan flux material (Zellmer dkk., 2015)	9
Gambar 2.3 Siklus pelepasan belerang gunung berapi. (Zellmer dkk., 2015) ...	11
Gambar 2.4 Dampak radiasi matahari terhdap atmosfer (Amin dkk., 2024)	14
Gambar 2.5 Sebaran emisi SO ₂ erupsi gunung lewotobi laki laki.....	21
Gambar 3.1 Peta lokasi penelitian Gunung lewotobi Laki-laki	24
Gambar 3.2 Diagram alir penelitian	25
Gambar 3.3 Tampilan antarmuka platform NASA Giovanni yang digunakan untuk ekstraksi data satelit penelitian	27
Gambar 3.4 Tampilan antarmuka platform NASA Giovanni yang digunakan untuk ekstraksi data satelit penelitian	28
Gambar 4.1 Data Harian SO ₂ dan temperature permukaan.....	33
Gambar 4.2 Data Harian SO ₂ dan Aerosol Sulfat	34
Gambar 4.3 Data Harian SO ₂ dan Ketebalan Optik Awan.....	36
Gambar 4.4 Data Harian SO ₂ dan Curah Hujan	37
Gambar 4.5 (a) Hubungan SO ₂ terhadap suhu permukaan berdasarkan regresi linier, (b) Korelasi silang (CCF) antara SO ₂ terhadap suhu permukaan.....	39
Gambar 4.6 (a) Hubungan SO ₂ terhadap Aerosol Sulfat berdasarkan regresi linier, (b) Korelasi silang (CCF) antara SO ₂ terhadap aerosol sulfat	41
Gambar 4.7 (a) Hubungan SO ₂ terhadap curah hujan, (b) Korelasi silang (CCF) antara SO ₂ terhadap curah hujan	43
Gambar 4.8 (a) Hubungan SO ₂ terhadap curah hujan, (b) Korelasi silang (CCF) antara SO ₂ terhadap curah hujan	45
Gambar 4.9 Ilustrasi alur mekanisme mikrofisika awan	46

Gambar 4.10 Indikasi potensi hujan asam berdasarkan parameter atmosferik ... 46

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Jari-jari Aerosol (Tjasyono, 2012)	15
---	----

DAFTAR PUSTAKA

- Agus Cahyono Adi. (2024a). *Aktivitas Vulkanik Meningkat, PVMBG Naikkan Status G. Lewotobi Laki-laki Naik Jadi “AWAS.”* <https://www.esdm.go.id/>
- Agus Cahyono Adi. (2024b). *Badan Geologi: Erupsi G. Lewotobi Laki-Laki Keluarkan Gas SO₂ Lebih dari 10.000 Ton per Hari.* <https://www.esdm.go.id/>
- Amin, A., & Mourshed, M. (2024). Weather and climate data for energy applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 192(December 2023), 114247. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2023.114247>
- Aprilina, N. V., Golla, G. U., Kusumah, Y. I., & Suryantini. (2021). Geothermal Prospect Review in the Western Part of Salak Volcano, West Java, Indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 732(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/732/1/012011>
- Barry, R. G., & Chorley, R. J. (2009). Atmosphere, Weather and Climate. In *Atmosphere, Weather and Climate*. <https://doi.org/10.4324/9780203871027>
- Beaudry, P., & Sverjensky, D. A. (2024). Oxidized Sulfur Species in Slab Fluids as a Source of Enriched Sulfur Isotope Signatures in Arcs. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 25(7). <https://doi.org/10.1029/2024GC011542>
- Cai, Z., Griessbach, S., & Hoffmann, L. (2022). Improved estimation of volcanic SO₂ injections from satellite retrievals and Lagrangian transport simulations: The 2019 Raikoke eruption. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 22(10), 6787–6809. <https://doi.org/10.5194/acp-22-6787-2022>
- Carn, S. A., Krotkov, N. A., Fisher, B. L., & Li, C. (2022). Out of the blue: Volcanic SO₂ emissions during the 2021–2022 eruptions of Hunga Tonga—Hunga Ha’apai (Tonga). *Frontiers in Earth Science*, 10(September), 1–18. <https://doi.org/10.3389/feart.2022.976962>
- Chen, Y., Haywood, J., Wang, Y., Malavelle, F., Jordan, G., Peace, A., Partridge,

- D. G., Cho, N., Oreopoulos, L., Grosvenor, D., Field, P., Allan, R. P., & Lohmann, U. (2024). Substantial cooling effect from aerosol-induced increase in tropical marine cloud cover. *Nature Geoscience*, 17(5), 404–410. <https://doi.org/10.1038/s41561-024-01427-z>
- Enger, E., Graversen, R., & Theodorsen, A. (2024). *Radiative forcing by super-volcano eruptions*. 1–24. <http://arxiv.org/abs/2404.01675>
- Fiantis, D., Ginting, F. I., Gusnidar, Nelson, M., & Minasny, B. (2019). Volcanic Ash, insecurity for the people but securing fertile soil for the future. *Sustainability (Switzerland)*, 11(11). <https://doi.org/10.3390/su11113072>
- Ge, W., Liu, J., Yi, K., Xu, J., Zhang, Y., Hu, X., Ma, J., Wang, X., Wan, Y., Hu, J., Zhang, Z., Wang, X., & Tao, S. (2021). Influence of atmospheric in-cloud aqueous-phase chemistry on the global simulation of SO₂ in CESM2. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 21(21), 16093–16120. <https://doi.org/10.5194/acp-21-16093-2021>
- Hoffmann, L., Gilardi, L., Schmitz, M. T., Erbertseder, T., Bittner, M., Wüst, S., Schmid, M., & Rittweger, J. (2024). Investigating the spatiotemporal associations between meteorological conditions and air pollution in the federal state Baden - Württemberg (Germany). *Scientific Reports*, 1–16. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-56513-4>
- Huang, X., & Ding, A. (2021). Aerosol as a critical factor causing forecast biases of air temperature in global numerical weather prediction models. *Science Bulletin*, 66(18), 1917–1924. <https://doi.org/10.1016/j.scib.2021.05.009>
- Ilić, P., Nešković Markić, D., & Stojanović Bjelić, L. (2018). Variation Concentration of Sulfur Dioxide and Correlation With Meteorological Parameters. *Archives for Technical Sciences*, 1(18), 81–88. <https://doi.org/10.7251/afts.2018.1018.081i>
- Isokääntä, S., Kim, P., Mikkonen, S., Kühn, T., Kokkola, H., Yli-Juuti, T., Heikkinen, L., Luoma, K., Petäjä, T., Kipling, Z., Partridge, D., & Virtanen,

- A. (2022). The effect of clouds and precipitation on the aerosol concentrations and composition in a boreal forest environment. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 22(17), 11823–11843. <https://doi.org/10.5194/acp-22-11823-2022>
- Lamotte, C., Guth, J., Marécal, V., Cussac, M., Hamer, P. D., Theys, N., & Schneider, P. (2021). Modeling study of the impact of SO₂ volcanic passive emissions on the tropospheric sulfur budget. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 21(14), 11379–11404. <https://doi.org/10.5194/acp-21-11379-2021>
- Li, J. L., Schwarzenbach, E. M., John, T., Ague, J. J., Huang, F., Gao, J., Klemm, R., Whitehouse, M. J., & Wang, X. S. (2020). Uncovering and quantifying the subduction zone sulfur cycle from the slab perspective. *Nature Communications*, 11(1), 1–12. <https://doi.org/10.1038/s41467-019-14110-4>
- Li, Z., Lau, W. K. M., Ramanathan, V., Wu, G., Ding, Y., Manoj, M. G., Liu, J., Qian, Y., Li, J., Zhou, T., Fan, J., Rosenfeld, D., Ming, Y., Wang, Y., Huang, J., Wang, B., Xu, X., Lee, S. S., Cribb, M., ... Brasseur, G. P. (2016). Aerosol and monsoon climate interactions over Asia. *Reviews of Geophysics*, 54(4), 866–929. <https://doi.org/10.1002/2015RG000500>
- Liu, X., Jeon, J., Nacht, A. R., & Larson, P. S. (2025). *Lag Associations of Precipitation and Temperature with Seven Types of Ambient Air Pollution Concentrations in the Midwestern United States : A Time Series Analysis with Seven Types of Ambient Air Pollution Concentrations in the Midwestern United States : . 0–8*. <https://doi.org/10.20944/preprints202503.0438.v1>
- Mahrup, Ma'shum, M., & Fahrudin. (2021). Climate change in the Lesser Sunda Islands: The harsh region in the maritime continent of Indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 824(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/824/1/012115>
- Malavelle, F. F., Haywood, J. M., Jones, A., Gettelman, A., Clarisse, L., Bauduin, S., Allan, R. P., Karset, I. H. H., Kristjánsson, J. E., Oreopoulos, L., Cho, N., Lee, D., Bellouin, N., Boucher, O., Grosvenor, D. P., Carslaw, K. S., Dhomse,

- S., Mann, G. W., Schmidt, A., ... Thordarson, T. (2017). Strong constraints on aerosol-cloud interactions from volcanic eruptions. *Nature*, 546(7659), 485–491. <https://doi.org/10.1038/nature22974>
- Marchese, F., Genzano, N., Neri, M., Falconieri, A., Mazzeo, G., & Pergola, N. (2019). A multi-channel algorithm for mapping volcanic thermal anomalies by means of sentinel-2 MSI and Landsat-8 OLI data. *Remote Sensing*, 11(23). <https://doi.org/10.3390/rs11232876>
- Marshall, L. R., Maters, E. C., Schmidt, A., Timmreck, C., Robock, A., & Toohey, M. (2022). Volcanic effects on climate: recent advances and future avenues. *Bulletin of Volcanology*, 84(5). <https://doi.org/10.1007/s00445-022-01559-3>
- Marshall, L. R., Schmidt, A., Schurer, A. P., Abraham, N. L., Lücke, L. J., Wilson, R., Anchukaitis, K. J., Hegerl, G. C., Johnson, B., Otto-Bliesner, B. L., Brady, E. C., Khodri, M., & Yoshida, K. (2025). Last-millennium volcanic forcing and climate response using SO₂ emissions. *Climate of the Past*, 21(1), 161–184. <https://doi.org/10.5194/cp-21-161-2025>
- Marshall, L. R., Smith, C. J., Forster, P. M., Aubry, T. J., Andrews, T., & Schmidt, A. (2020). Large Variations in Volcanic Aerosol Forcing Efficiency Due to Eruption Source Parameters and Rapid Adjustments. *Geophysical Research Letters*, 47(19). <https://doi.org/10.1029/2020GL090241>
- Nicholson, E. J., Mather, T. A., Pyle, D. M., Odbert, H. M., & Christopher, T. (2013). Cyclical patterns in volcanic degassing revealed by SO₂ flux timeseries analysis: An application to Soufrière Hills Volcano, Montserrat. *Earth and Planetary Science Letters*, 375, 209–221. <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2013.05.032>
- Noh, Y. M., Shin, D. H., & Müller, D. (2017). Variation of the vertical distribution of Nabro volcano aerosol layers in the stratosphere observed by LIDAR. *Atmospheric Environment*, 154, 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2017.01.033>

- Paik, S., Min, S. K., Son, S. W., Lim, E. P., McGregor, S., An, S. Il, Kug, J. S., & Yeh, S. W. (2023). Impact of volcanic eruptions on extratropical atmospheric circulations: review, revisit and future directions. *Environmental Research Letters*, 18(6). <https://doi.org/10.1088/1748-9326/acd5e6>
- Papageorgiou, S. N. (2022). On correlation coefficients and their interpretation. *Journal of Orthodontics*, 49(3), 359–361. <https://doi.org/10.1177/14653125221076142>
- Potts, D. A., Ferranti, E. J. S., Timmis, R., Brown, A. S., & Vande Hey, J. D. (2021). Satellite data applications for site-specific air quality regulation in the uk: Pilot study and prospects. *Atmosphere*, 12(12). <https://doi.org/10.3390/atmos12121659>
- Reid, J. S., Maring, H. B., Narisma, G. T., Van Den Heever, S., Girolamo, L. Di, Ferrare, R., Lawson, P., Mace, G. G., Simpas, J. B., Tanelli, S., Ziemba, L., Van Diedenhoven, B., Bruintjes, R., Bucholtz, A., Flynn, C. B., Cambaliza, M. O., Chen, G., Diskin, G. S., Flynn, J. H., ... Zavaleta, J. (2023). The Coupling Between Tropical Meteorology, Aerosol Lifecycle, Convection, and Radiation during the Cloud, Aerosol and Monsoon Processes Philippines Experiment (CAMP2Ex). *Bulletin of the American Meteorological Society*, 104(6), E1179–E1205. <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-21-0285.1>
- Roberts, T. J., Vignelles, D., Liuzzo, M., Giudice, G., Aiuppa, A., Coltelli, M., Salerno, G., Chartier, M., Couté, B., Berthet, G., Lurton, T., Dulac, F., & Renard, J. B. (2018). The primary volcanic aerosol emission from Mt Etna: Size-resolved particles with SO₂ and role in plume reactive halogen chemistry. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 222, 74–93. <https://doi.org/10.1016/j.gca.2017.09.040>
- Robock, A. (2000). Ic Eruptions. *Reviews of Geophysics*, 1998, 191–219.
- Sahoo, S. S. (2024). Volcanic eruptions and climate: A complex interplay. *Journal of Geosciences Insights*, 2(1), 25–28.

<https://doi.org/10.61577/jgi.2024.100005>

- Schallock, J., Brühl, C., Bingen, C., Höpfner, M., Rieger, L., & Lelieveld, J. (2023). Reconstructing volcanic radiative forcing since 1990, using a comprehensive emission inventory and spatially resolved sulfur injections from satellite data in a chemistry-climate model. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 23(2), 1169–1207. <https://doi.org/10.5194/acp-23-1169-2023>
- Schmidt, M. W., & Poli, S. (1998). Experimentally based water budgets for dehydrating slabs and consequences for arc magma generation. *Earth and Planetary Science Letters*, 163(1–4), 361–379. [https://doi.org/10.1016/S0012-821X\(98\)00142-3](https://doi.org/10.1016/S0012-821X(98)00142-3)
- Sellitto, P., Siddans, R., Belhadji, R., Carboni, E., Legras, B., Podglajen, A., Duchamp, C., & Kerridge, B. (2024). Observing the SO₂ and Sulfate Aerosol Plumes From the 2022 Hunga Eruption With the Infrared Atmospheric Sounding Interferometer (IASI). *Geophysical Research Letters*, 51(19). <https://doi.org/10.1029/2023GL105565>
- Septama, E., Prasetyadi, C., Abdurrokhim, A., Setiawan, T., Wardaya, P. D., Raguwanti, R., Ryacudu, R., Mulawarman, A., Adhiperdhana, B., Haryanto, I., Rahman, M. G., Novianto, A., Setiawan, J., Sutadiwiria, Y., Syaifudin, M., Rossa, V. I., & Pratama, R. R. (2021). The hidden sedimentary basin underneath the Quaternary volcanic unit in Bogor and Kendeng area. *Berita Sedimentologi*, 47(2), 25–47. <https://doi.org/10.51835/bsed.2021.47.2.323>
- Steve Graham, Claire Parkinson, M. C. (2010). The Water Cycle : Feature Articles. *NASA Earth Observatory*, 1. <https://earthobservatory.nasa.gov/Features/Water/%5Cnhttp://earthobservatory.nasa.gov/Features/Water/>
- Tchinda Tsona, N., & Du, L. (2019). A potential source of atmospheric sulfate from O₂g⁺-induced SO₂ oxidation by ozone. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 19(1), 649–661. <https://doi.org/10.5194/acp-19-649-2019>

- Timmreck, C., Toohey, M., Zanchettin, D., Brönnimann, S., Lundstadt, E., & Wilson, R. (2021). The unidentified volcanic eruption of 1809: why it remains a climatic cold case. *Climate of the Past Discussions, April 1815*, 1–39.
- Tjasyono, B. (2012). Karakteristik dan Sirkulasi Atmosfer. In *Meteorologi Indonesia Volume I: Vol. I*.
- Toohey, M., Jia, Y., Tegetmeier, S., Toohey, M., Jia, Y., & Tegetmeier, S. (2021). Stratospheric residence time and the lifetime of volcanic aerosol. *Eguga*, EGU21-12131.
<https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2021EGUGA..2312131T/abstract>
- Woodland, A. B., Kornprobst, J., & Tabit, A. (2006). Ferric iron in orogenic lherzolite massifs and controls of oxygen fugacity in the upper mantle. *Lithos*, 89(1–2), 222–241. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2005.12.014>
- Yu, P., Portmann, R. W., Peng, Y., Liu, C. C., Zhu, Y., Asher, E., Bai, Z., Lu, Y., Bian, J., Mills, M., Schmidt, A., Rosenlof, K. H., & Toon, O. B. (2023). Radiative Forcing From the 2014–2022 Volcanic and Wildfire Injections. *Geophysical Research Letters*, 50(13), 1–8.
<https://doi.org/10.1029/2023GL103791>
- Zanchettin, D. (2023). Volcanic Eruptions: A Source of Irreducible Uncertainty for Future Climates. *Geophysical Research Letters*, 50(17), 1–5.
<https://doi.org/10.1029/2023GL105482>
- Zellmer, G. F., Edmonds, M., & Straub, S. M. (2015). Volatiles in subduction zone magmatism. *Geological Society Special Publication*, 410(1), 1–17.
<https://doi.org/10.1144/SP410.13>
- Zhou, K., Xu, W., Zhang, L., Ma, M., Liu, X., & Zhao, Y. (2023). Estimating nitrogen and sulfur deposition across China during 2005 to 2020 based on multiple statistical models. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 23(15), 8531–8551. <https://doi.org/10.5194/acp-23-8531-2023>