

Identifikasi lapisan sedimen kawasan sungai bawah tanah Bribin Gunungkidul menggunakan metode mikrotremor horizontal to vertical spectral ratio

Meli Melyyanti*, Khafidh Nur Aziz, dan Kholis Nurhanafi

Universitas Negeri Yogyakarta, Indonesia

Email: melimelyyanti.2020@student.uny.ac.id

Abstrak: Penelitian ini bertujuan untuk menentukan dan menganalisis kondisi geologi berdasarkan nilai frekuensi dominan (f_0) dan faktor amplifikasi (A_0), menentukan lapisan sedimen berdasarkan nilai v_s , serta menginterpretasi ketebalan sedimen berdasarkan *ground profiles* kecepatan gelombang geser dengan metode *ellipticity curve* dikawasan Sungai Bawah Tanah Bribin, Gunungkidul. Metode penelitian ini menggunakan mikrotremor yang diambil secara langsung di lapangan dengan alat seismik yang menghasilkan data sinyal mikrotremor. Hasil penelitian menghasilkan nilai frekuensi dominan (f_0) berkisar antara 2,07 s.d 14,9 Hz dimana nilai frekuensi rendah (<2,5 Hz) yang dibuktikan adanya batuan gamping, sedangkan nilai amplifikasi (A_0) berkisar antara 1,42 hingga 3,81 yang sebagian besar berada pada zona sedang dan zona tinggi, dengan lapisan permukaan yang tipis sekitar 5 hingga 10 meter dengan nilai ketebalan sedimen di sisi utara sampai tengah tergolong cukup tebal, sedangkan sisi selatan menunjukkan ketebalan sedimennya tipis karena berada pada sekitar aliran Sungai Bawah Tanah dan di dominasi oleh kawasan pegunungan karst. Dengan demikian informasi yang diperoleh dapat digunakan untuk mengembangkan potensi sumber daya alam dan risiko geologis yang terkait.

Kata kunci: mikrotremor, sungai bawah tanah Bribin, HVSR, *ellipticity curve*

Sedimentary layers identification of Bribin underground river in Gunungkidul utilizing the theory of HVSR microtremor

Abstract: This study aims to determine and analyze geological conditions based on the dominant frequency (f_0) and amplification factor (A_0) values, determine sediment layers based on v_s values, and interpret sediment thickness based on ground profiles of shear wave velocity using the *ellipticity curve* method in the Bribin Underground River area, Gunungkidul. This research method uses microtremors taken directly in the field with a seismic instrument that produces microtremor signal data. The results of the study produced dominant frequency (f_0) values ranging from 2.07 to 14.9 Hz where low frequency values (<2.5 Hz) are evidenced by the presence of limestone, while amplification (A_0) values range from 1.42 to 3.81 which are mostly located in the medium and high zones, with a thin surface layer of about 5 to 10 meters with sediment thickness values on the north to middle side being quite thick, while the south side shows thin sediment thickness because it is located around the Underground River flow and is dominated by karst mountain areas. Thus the information obtained can be used to develop the potential of natural resources and related geological risks.

Keywords: mikrotremor, Bribin underground river, HVSR, *ellipticity curve*

PENDAHULUAN

Kawasan karst merupakan salah satu fenomena geologi yang menarik perhatian para peneliti karena kompleksitasnya yang unik. Dalam kawasan karst, terdapat banyak fitur geologi menarik seperti gua, sungai bawah tanah, dan pola aliran air yang kompleks (Ali, 2021). Karst adalah kawasan dengan ciri topografi eksokarst dan perkembangan sistem drainase bawah permukaan yang lebih dominan dibandingkan sistem aliran permukaannya (Agniy, 2023). Hal ini disebabkan kondisi hidrologi kawasan karst yang memiliki jenis batuan yang mudah larut dan berkembang baiknya porositas pada batuan karst. Karst sebagai medan dengan kondisi hidrologi yang khas sebagai akibat dari batuan yang mudah larut dan mempunyai porositas sekunder tinggi yang dapat membuat air dapat mengalir melalui celahnya (Zerga, 2024). Sebagai akibatnya, batuan karst hanya dapat mendistribusikan air ke dalam pori-pori batuannya. Hal ini dapat menyebabkan kawasan karst memiliki susunan tanah yang berongga dan dapat meningkatkan intensitas pelarutan tanah yang dapat membuat terowongan atau lorong yang biasa disebut gua dan aliran sungai bawah tanah sehingga cadangan air tidak berada pada kedalaman yang dangkal.

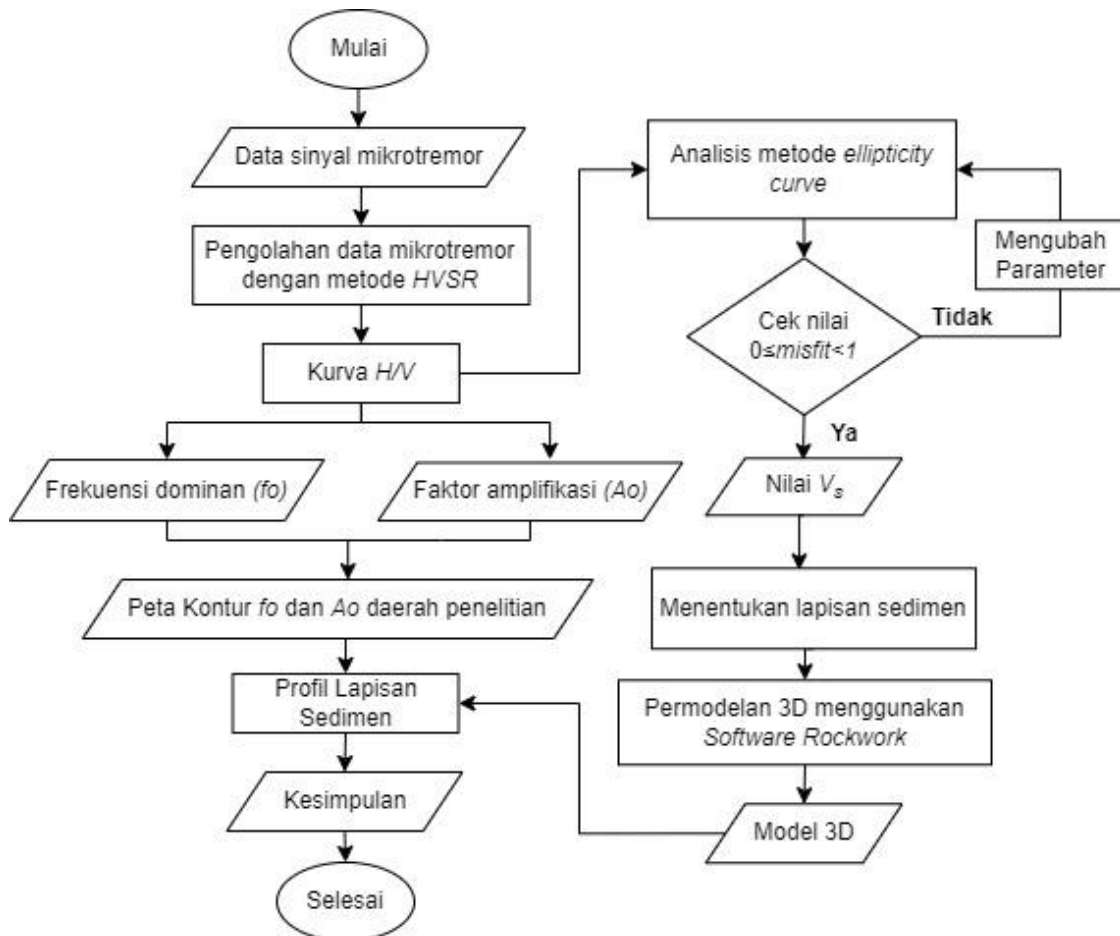
Salah satu aspek yang penting untuk dipelajari dalam kawasan ini adalah lapisan sedimen di bawah tanah, terutama yang berada di sekitar sungai bawah tanah. Identifikasi lapisan sedimen ini menjadi langkah awal yang penting dalam memahami karakteristik hidrogeologi, proses pelarutan, serta potensi georisiko di kawasan karst (Haryanto, 2021). Penelitian ini merupakan penerapan salah satu metode yang biasa digunakan dalam ilmu geofisika, yaitu metode mikrotremor. Metode ini diterapkan dalam hal pengidentifikasian jalur sistem sungai bawah tanah pada kawasan karst. Untuk memahami karakteristik lapisan sedimen di kawasan ini, penelitian ini akan menggunakan metode HVSR yang telah terbukti efektif dalam identifikasi lapisan sedimen (Luna, 2025). Metode Mikrotremor Horizontal-to-Vertical Spectral Ratio (HVSR) telah terbukti efektif dalam identifikasi struktur bawah tanah, termasuk lapisan sedimen. Lapisan sedimen yang diidentifikasi nantinya akan menjadi dasar untuk pemahaman struktur geologi di kawasan ini. Penelitian ini dilakukan di Bribin Gunungkidul, yang merupakan kawasan sungai bawah tanah yang strategis namun minim informasi terkait karakteristik geologinya. Metode HVSR telah banyak digunakan dalam berbagai konteks geologi, namun aplikasinya dalam identifikasi lapisan sedimen di kawasan karst sungai bawah tanah masih terbatas di kawasan karst Gunungkidul. Selain itu, terdapat tantangan dalam interpretasi data HVSR yang dihasilkan karena kompleksitas struktur bawah tanah di kawasan karst. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengisi celah pengetahuan tersebut dengan melakukan identifikasi lapisan sedimen pada kawasan sungai bawah tanah di kawasan Bribin Gunungkidul menggunakan metode Mikrotremor HVSR. Dengan demikian, diharapkan penelitian ini dapat memberikan kontribusi yang signifikan dalam pemahaman mengenai struktur bawah tanah di kawasan karst tersebut, serta potensi sumber daya alam dan risiko geologis yang terkait.

METODE

Metode yang dilakukan untuk identifikasi lapisan ini yaitu metode mikrotremor yang diambil secara langsung di lapangan dengan alat seismik yang menghasilkan data sinyal mikrotremor. Data sinyal mikrotremor kemudian disimpan kedalam format miniseed yang selanjutnya dilakukan pengolahan data menggunakan metode *HVSR* untuk mendapatkan data spektum horizontal terhadap vertikal. Terdapat tiga komponen sinyal mikrotremor pada tiap titik pengambilan data, yaitu dua data untuk komponen horizontal (gelombang seismik *North-South* dan *East-West*), serta satu sinyal komponen vertikal. Sinyal ini kemudian dilakukan filtering data dengan menggunakan *software geopsy* atau pemilihan sinyal yang tidak terdapat banyak noise. Hasil dari tahapan ini adalah kuvra *H/V* yang memuat nilai frekuensi dominan (*f_o*) dan faktor amplifikasi tanah (*A_o*). Nilai frekuensi dominan dan nilai faktor amplifikasi kemudian disimpan

dalam format (.hv) yang nanti akan dilakukan proses inversi.

Permodelan lapisan sedimen dengan cara inversi dilakukan dengan mengkorelasikan nilai H/V dengan frekuensi dan kedalaman. Proses inversi dilakukan menggunakan *dinver* pada *software Sessaray Geopsy* dengan metode *ellipticity curve*. Langkah yang dilakukan yaitu menginput data kurva H/V dan memasukkan parameter awal yang meliputi kecepatan gelombang P (V_P), Kecepatan gelombang geser (v_s), poisson ratio, dan densitas. Keempat parameter tersebut disesuaikan dengan kondisi geologi daerah penelitian, Setelah memasukkan parameter kemudian akan mendapatkan hasil berupa *ground profiles* Sehingga dapat diketahui kecepatan gelombang geser serta kedalaman yang memiliki nilai misfit. Jika nilai misfit menunjukkan nilai ≤ 1 , maka proses pengolahan data dilanjutkan, sebaliknya jika nilai misfit > 1 , maka dilakukan perubahan nilai parameter Kecepatan gelombang P (V_P), Kecepatan geser (v_s), *poisson ratio* dan densitas. Nilai (v_s) serta kedalaman hasil dari *ground profiles* kemudian digunakan untuk melakukan pemodelan menggunakan *software Rockwork 16*. Hasil dari pemodelan 3D dari ketebalan sedimen ini akan memudahkan visualisasi struktur bawah permukaan dengan menampilkan kedalaman tanah serta batas antar lapisan batuan. Diagram metode penelitian di tampilkan pada Gambar 1.

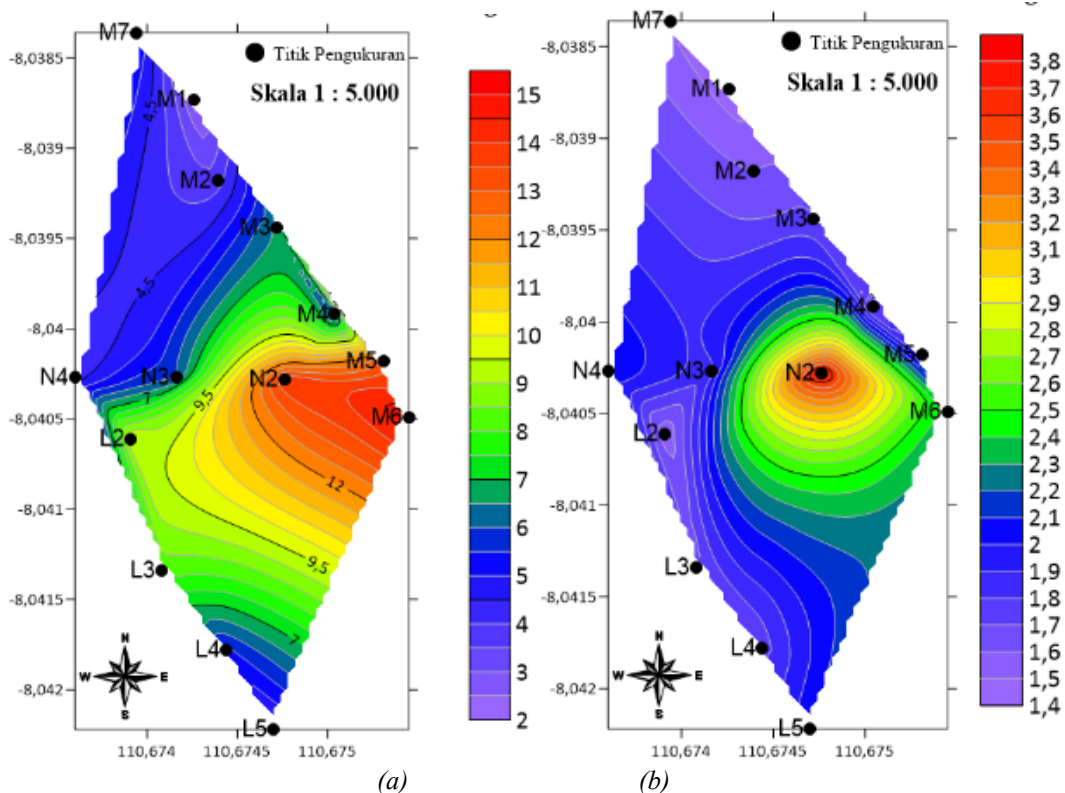


Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Identifikasi lapisan sedimen di Kawasan Sungai Bawah Tanah Bribin, Kecamatan Semanu, Gunungkidul sebanyak 14 titik pengukuran dengan menggunakan parameter frekuensi dominan (f_o), faktor amplifikasi Tanah (A_o), dan ketebalan sedimen (h). Persebaran nilai frekuensi dominan pada Gambar 2 (a) diketahui berkisar antara 2,07 hingga 14,9 Hz dimana nilai yang cenderung rendah mendominasi di sisi sebelah utara dan selatan daerah penelitian, sedangkan nilai frekuensi dominan yang cenderung besar berada di sisi sebelah timur daerah penelitian, tepatnya terletak pada di Dam Bribin II. Hal ini berkorelasi dengan keberadaan Sungai Bawah Tanah, sehingga pada titik tersebut mempunyai nilai yang cenderung besar. Sehingga kontur berwarna hijau direpresentasikan sebagai pola aliran sungai bawah tanah.

Sifat lapisan batuan memiliki keterkaitan dengan nilai frekuensi dominan, dimana frekuensi dominan yang tinggi menunjukkan lapisan tersebut didominasi oleh batuan keras dan sebaliknya, nilai frekuensi dominan rendah menunjukkan lapisan tersebut tersusun dari batuan lunak. Frekuensi dominan dapat bernilai tinggi dikarenakan gelombang melewati lapisan sedimen yang tipis, hal ini disebabkan gelombang yang melaluinya akan berlalu begitu saja karena tidak membutuhkan waktu lama terperangkap didalamnya, sehingga frekuensi yang diterima pada alat akan tinggi. Sedangkan nilai frekuensi dominan akan bernilai rendah jika gelombang melewati lapisan sedimen yang tebal, hal ini dikarenakan gelombang yang datang dan melalui lapisan sedimen tersebut dapat terperangkap kedalam lapisan sedimennya. Semakin tebal lapisan sedimen maka gelombang akan terperangkap lebih lama atau terendam sesuai karakteristik lapisan tersebut, sehingga frekuensi yang diterima pada alat akan rendah.



Gambar 2. (a)Peta Persebaran Nilai f_o (b) Peta Persebaran Nilai A_o

Kawasan Sungai Bribin memiliki nilai amplifikasi berkisar antara 1,42 hingga 3,81 dengan

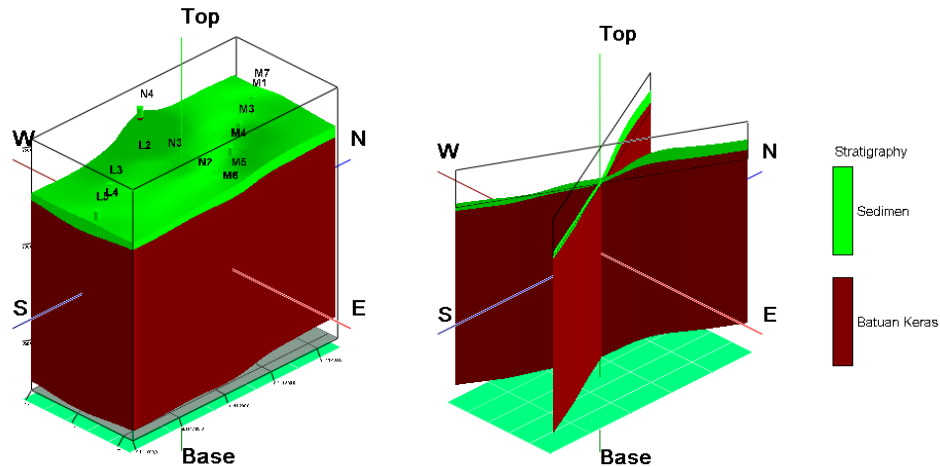
nilai amplifikasi terendah berada di titik M1 sebelah utara dari DAM Bribin II. Sedangkan, amplifikasi tertinggi terletak di titik N2 berada pada pusat aliran Sungai Bawah Tanah Bribin dimana daerah tersebut mempunyai lapisan sedimen yang tipis. Pada dasarnya, daerah yang memiliki lapisan sedimen tipis akan memiliki nilai amplifikasi yang rendah, namun pada kondisi ini berkebalikan karena daerah ini terdapat rongga yang mempunyai aliran sungai yang cukup deras, sehingga menyebabkan nilai amplifikasi tinggi. Penyebaran nilai faktor amplifikasi di kawasan Sungai Bawah Tanah Bribin dapat dilihat pada Gambar (b).

Nilai amplifikasi memiliki keterikatan dengan nilai frekuensi dominan jika dilihat dari lapisan sedimen, dimana nilai amplifikasi yang tinggi dengan nilai (f_o) yang rendah umumnya terdapat dikondisi geologi yang didominasi oleh batuan lunak dan nilai amplifikasi rendah dengan frekuensi tinggi terdapat dikondisi geologi yang didominasi oleh batuan keras. Hal ini menunjukkan bahwa nilai A_o berhubungan dengan tingkat kepadatan batuan, dimana berkurangnya kepadatan batuan akan meningkatkan nilai A_o .



Gambar 3. Lintasan Penampang Mikroseismik

Akuisisi data mikrotremor dilakukan pada 14 titik di kawasan Sungai Bribin, Gunningkidul. Gambar 1.34.7 menunjukkan distribusi titik pengukuran dan jalur penampang seismik di daerah penelitian. Identifikasi ketebalan lapisan sedimen lunak dan keras dilakukan hingga kedalaman 100 meter berdasarkan 3 lintasan penampang seismik utara-selatan (A-A') dimana salah satunya membentang dari arah utara menuju DAM Bribin II dan sepanjang garis potong tepat di tengah daerah penelitian, lintasan diagonal barat-timur (B-B'), dan lintasan utara-selatan yang membentang di sebelah selatan DAM Bribin II (C-C'). Setiap lintasan terdiri dari pola penampang seismik yang menunjukkan karakteristik geologi pada masing-masing titik.



Gambar 4. Model 3D dan Sayatan X-Cross

Pada Gambar 1.4 dapat terlihat hasil pemodelan 3D yang telah dilakukan sayatan *x-cross*. Pada sisi sebelah utara terlihat lapisan sedimen yang cukup tebal ditunjukkan oleh spektrum warna hijau. Oleh karena itu wilayah penelitian yaitu kawasan Sungai Bawah Tanah bribin didominasi oleh lapisan sedimen yang tipis dan lapisan batuan keras yang tebal dilihat dari kondisi lapisan penyusun formasi geologinya. Lapisan sedimen di daerah penelitian berkisar antara 0 – 9,26 m. Sedangkan, lapisan batuan keras yang berada pada kedalaman 9,26 – 100 m. Hal ini sesuai dengan data bor daerah semanu, dimana pada data tersebut di kedalaman 0 – 8 m tersusun atas lapisan tanah (soil) dan batu gamping putih yang lunak. Pada kedalaman 8 – 100 m tersusun atas batuan gamping klastik dan non klastik, dimana pada kedalaman 64 – 75 m dan 80 – 100 m merupakan lapisan gamping non klastik yang memiliki stuktur klastik seperti goa dan Sungai Bawah Tanah yang meningkatkan kapasitas penyimpanan dan permeabilitas air. Lapisan batuan ini memiliki permeabilitas tinggi sehingga membentuk **lapisan akuifer** yang efektif karena kemampuannya untuk menyimpan air dalam pori-pori dan celahnya yang terbentuk, sehingga lapisan gamping ini bisa menjadi **sumber cadangan air** yang signifikan. Hal ini sejalan dengan beberapa penelitian yang menunjukkan penghilangan material dalam batuan terlarut melalui pelarutan fisika dan kimia merupakan proses penting yang meningkatkan porositas sekunder batuan terlarut. Pada batuan terlarut yang dicirikan oleh rekahan dan ruang pori, pelarutan di kedua kompartemen aliran dapat terjadi (Kaufmann, 2016).

SIMPULAN

Persebaran nilai frekuensi dominan (f_0) di daerah penelitian berkisar antara 2,07 s.d 14,9 Hz dimana nilai frekuensi rendah (<2,5 Hz) yang mendominasi hampir di seluruh daerah penelitian dibuktikan dengan adanya batuan gamping, sedangkan nilai amplifikasi (A_0) berkisar antara 1,42 hingga 3,81 dengan distribusi nilai amplifikasi sebagian besar berada pada zona sedang dan zona tinggi yang didominasi oleh batuan karst. Daerah penelitian berada pada kawasan pegunungan karst dengan formasi geologi yaitu wonosari punang dengan lapisan permukaan yang tipis yang sesuai dengan profil geologinya yaitu sekitar 5 s.d 10 meter. Nilai ketebalan sedimen di sisi utara sampai tengah daerah penelitian tergolong cukup tebal sedangkan sisi selatan daerah penelitian ketebalan sedimennya tipis karena berada pada sekitar aliran Sungai Bawah Tanah dan di dominasi oleh kawasan pegunungan karst.

DAFTAR PUSTAKA

- Agniy RF, Haryono E, Adji TN, Cahyadi A, Azima F (2023). Conservation and characterization of karst water using morpho-hydrogeological methods in Pindul Cave system, Gunungsewu Karst, Java, Indonesia. IOP Conf. Series: *Earth and Environmental Science* 1190, 012015. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1190/1/012015>
- Ali, R. K., Qadaryati, N., & Kurniawan, R. W. (2021). Analisis penilaian situs geologi sebagai peluang pengembangan geowisata di Kabupaten Bantul, Daerah Istimewa Yogyakarta. *Jurnal Ilmiah Pariwisata*, 26(1). <https://doi.org/10.30647/jip.v26i1.1443>
- Haryanto, D. R., Et Al. (2021). *Laboratory Analysis Of Soil Properties In Karst Area For Infrastructure Development: A Case Study In Bribin Gunungkidul, Indonesia*. Iop Conference Series: Earth And Environmental Science, 796(1), 012007.
- Kaufmann G. (2016). Modelling karst aquifer evolution in fractured, porous rocks. *Journal of Hydrology*. 543: 796-907. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2016.10.049>
- Luna A, D., Macau, A., Fernández, C., & Alonso-Chaves, F. M. (2025). Three-Dimensional Architecture of Foreland Basins from Seismic Noise Recording: Tectonic Implications for the Western End of the Guadalquivir Basin. *Geosciences*, 15(9), 345. <https://doi.org/10.3390/geosciences15090345>
- Zerga B. (2024). Karst topography: Formation, processes, characteristics, landforms, degradation and restoration: A systematic review. *Watershed Ecology and the Environment*. 6: 252-269. <https://doi.org/10.1016/j.wsee.2024.10.003>.