



**FENOMENA BANJIR BANDANG SUMATRA DALAM PERSPEKTIF ILMU
KEBUMIHAN MENGGUNAKAN LITERATUR SCOPUS 2016–2025: ANALISIS
BIBLIOMETRIK PRISMA**

Nurul Fajri Saminan¹, Muhammad Khairul², Novia³, Pramita Sylvia Dewi⁴

Pendidikan Fisika, Universitas Serambi Mekkah¹;

Pendidikan Geografi, Universitas Pendidikan Indonesia²;

Universitas Sebelas Maret³; Universitas Lampung⁴

e-mail: nurul.fajri@serambimekkah.ac.id

Diterima: 20/01/2026; Direvisi: 31/01/2026; Diterbitkan: 19/02/2026

ABSTRAK

Banjir bandang di wilayah tropis menunjukkan kecenderungan peningkatan frekuensi dan dampak dalam dua dekade terakhir, terutama pada daerah aliran sungai (DAS) yang rentan serta wilayah yang mengalami perubahan penggunaan lahan dan pertumbuhan permukiman secara cepat. Penelitian ini berfokus pada pemetaan perkembangan kajian ilmiah banjir bandang di Sumatra, khususnya Aceh, Sumatera Utara, dan Sumatera Barat, dengan menekankan keterkaitan perubahan iklim, perubahan tutupan lahan/deforestasi, dinamika DAS, serta strategi mitigasi struktural dan nonstruktural termasuk pendidikan kebencanaan dan literasi ekologi. Metode yang digunakan adalah *systematic literature review* (SLR) yang dipadukan dengan analisis bibliometrik dan sintesis tematik. Data diperoleh dari basis data *Scopus* pada periode 2016–2025 dengan total 68 dokumen sebagai *dataset* awal. Proses seleksi literatur mengikuti pedoman PRISMA 2020, menghasilkan 53 dokumen *full-text* yang berhasil diperoleh, sementara 15 dokumen tidak tersedia naskah lengkapnya. Dari 53 dokumen yang ditelaah, 41 dokumen dipertahankan sebagai literatur relevan, terdiri atas 25 dokumen inti dan 16 dokumen pendukung. Hasil bibliometrik menggunakan VOSviewer menunjukkan 6 kluster tema dominan yang berpusat pada *floods*, *flash flood*, dan *indonesia*, dengan keterkaitan kuat terhadap hujan ekstrem, perubahan lanskap, teknologi geospasial, tata ruang, serta mitigasi. Sintesis tematik menegaskan bahwa risiko banjir bandang di Sumatra merupakan hasil interaksi pemicu hidrometeorologi, degradasi fungsi DAS akibat perubahan tutupan lahan, meningkatnya paparan karena urbanisasi, serta kapasitas sosial dalam merespons peringatan dini. Penelitian ini menyimpulkan perlunya penguatan mitigasi berbasis DAS yang terintegrasi dengan tata ruang adaptif, pemanfaatan teknologi geospasial, dan penguatan literasi risiko melalui pendidikan kebencanaan serta literasi ekologi untuk mendukung ketangguhan jangka panjang.

Kata Kunci: *Banjir Bandang, Pendidikan Kebencanaan, Literasi Ekologi, Pendidikan Kebumihan, PRISMA 2020*

ABSTRACT

Flash floods in tropical regions have shown an increasing trend in frequency and impacts over the last two decades, particularly in vulnerable watersheds and areas experiencing rapid land-use change and urban expansion. This study focuses on mapping the development of scientific research on flash floods in Sumatra, specifically Aceh, North Sumatra, and West Sumatra, by examining the linkages among climate change, land cover change/deforestation, watershed dynamics, and both structural and non-structural mitigation strategies, including disaster education and ecological literacy. A systematic literature review (SLR) combined with

bibliometric and thematic analyses was applied. Data were retrieved from the Scopus database for the 2016–2025 period, yielding 68 documents as the initial dataset. The selection process followed the PRISMA 2020 guidelines, resulting in 53 full-text documents retrieved, while 15 reports were not retrieved due to limited access. Of the 53 documents assessed, 41 were retained as relevant literature, comprising 25 core studies and 16 conditional supporting studies. Bibliometric analysis using VOSviewer identified six dominant thematic clusters centered on floods, flash flood, and indonesia, strongly connected to extreme rainfall, landscape change, geospatial technologies, spatial planning, and mitigation. The thematic synthesis indicates that flash flood risk in Sumatra is shaped by the interaction of hydrometeorological triggers, watershed degradation driven by land cover change, increasing exposure due to urbanization, and social capacity to respond to early warning information. This study concludes that integrated watershed-based mitigation, adaptive spatial planning, geospatial technology utilization, and strengthened risk literacy through disaster education and ecological literacy are essential to enhance long-term resilience.

Keywords: *Flash Flood, Disaster Education, Ecological Literacy, Earth Science Education, PRISMA 2020*

PENDAHULUAN

Banjir bandang di wilayah tropis menunjukkan kecenderungan peningkatan frekuensi dan dampak dalam dua dekade terakhir. Berbagai kajian hidrologi dan iklim menegaskan bahwa perubahan iklim global berkontribusi terhadap meningkatnya intensitas hujan ekstrem yang memperbesar risiko banjir, khususnya pada daerah aliran sungai yang rentan (Meresa et al., 2022; Ardiansyah et al., 2021; Ajjur & Al Ghamdi, 2024). Selain faktor iklim, peningkatan risiko banjir juga dipengaruhi oleh perubahan penggunaan lahan dan urbanisasi yang mempercepat limpasan permukaan serta meningkatkan debit puncak banjir. Kajian global dan regional mendukung temuan ini, termasuk laporan (IPCC, 2022), studi fenomena flash floods di DAS pegunungan, interaksi deforestasi dan hidrologi, dampak fragmentasi hutan (Hurtado-Pidal et al., 2022), resiliensi perkotaan (Bodoque et al., 2016), pengaruh perubahan penggunaan lahan pada risiko banjir (Ajtai et al., 2021), serta pendidikan berbasis komunitas dan perencanaan penggunaan lahan untuk mitigasi (Fu et al., 2024; Gawrysiak et al., 2024).

Konteks Sumatra memperlihatkan interaksi kuat antara tekanan iklim dan degradasi ekologi. Aceh, Sumatera Utara, dan Sumatera Barat tercatat sebagai wilayah dengan kerentanan banjir bandang yang tinggi. Banjir bandang ini terjadi secara berulang setiap tahun dan menimbulkan dampak sosial-ekonomi yang signifikan (BNPB, 2024; Lubis et al., 2024). Pola kejadian yang terus berlanjut hingga 2025 menunjukkan bahwa banjir bandang di Sumatra tidak bersifat episodik, melainkan mencerminkan krisis hidrometeorologi yang berulang dan sistemik.

Secara karakteristik, banjir bandang terjadi dengan respons cepat akibat hujan intensitas tinggi pada DAS kecil hingga menengah. Faktor morfologi DAS, kemiringan lereng, serta perubahan penggunaan lahan terbukti mempercepat respons hidrologi dan meningkatkan potensi limpasan (Zain et al., 2021; Legono et al., 2022). Di wilayah perkotaan seperti Medan, peningkatan permukaan kedap air dan ekspansi permukiman turut memperbesar paparan dan risiko genangan (Dian et al., 2018). Kajian mutakhir di Sumatra juga menegaskan bahwa perubahan tutupan lahan, termasuk konversi hutan menjadi perkebunan, menurunkan kapasitas infiltrasi tanah dan meningkatkan aliran permukaan. Dampak ini diperkuat oleh dinamika sosial dan perubahan eksposur masyarakat pada wilayah tangkapan air (Merten et al., 2020; Ma et al., 2023). Seiring perkembangan teknologi, pemodelan hidrologi-hidraulik dan penginderaan jauh

berbasis citra radar mulai banyak dimanfaatkan untuk pemetaan bahaya dan deteksi banjir secara lebih objektif (Bachri & Faisol, 2023; Fadhil & Akhyar, 2023; Isma et al., 2024).

Selain faktor biofisik, peningkatan risiko banjir bandang juga berkaitan dengan ekspansi perkebunan kelapa sawit dan tata kelola ruang yang kurang adaptif. Perubahan rezim hidrologi akibat drainase lahan gambut dan pembukaan hutan memperluas area rawan banjir sehingga menuntut pendekatan mitigasi berbasis DAS dan kebijakan penggunaan lahan yang lebih berkelanjutan (Sumarga et al., 2016; Gómez et al., 2023). Di tengah dominasi pendekatan struktural seperti tanggul dan normalisasi sungai, pendidikan kebencanaan dan literasi ekologi menjadi strategi nonstruktural yang berpotensi memperkuat ketangguhan jangka panjang. Berbagai studi menunjukkan bahwa pendidikan kebencanaan berbasis sekolah dan pendekatan partisipatif masyarakat mampu meningkatkan pemahaman risiko, kesiapsiagaan, serta perilaku mitigatif (Nifa et al., 2017; Logayah et al., 2022; Rizal et al., 2025).

Meskipun berbagai penelitian telah mengkaji faktor hidrologi, perubahan penggunaan lahan, serta dimensi sosial dalam risiko banjir bandang di Sumatra, sebagian besar studi tersebut masih bersifat sektoral dan terfragmentasi. Penelitian yang ada cenderung berfokus pada aspek fisik-hidrologis atau pada pendekatan sosial secara terpisah, sehingga belum memberikan gambaran komprehensif mengenai perkembangan tren riset, peta kolaborasi ilmiah, serta integrasi antara faktor biofisik dan pendidikan kebencanaan dalam konteks mitigasi. Hingga saat ini, belum terdapat kajian yang secara sistematis mengintegrasikan analisis bibliometrik dan tematik untuk memetakan dinamika penelitian banjir bandang di Sumatra sekaligus menempatkan literasi ekologi sebagai bagian dari strategi pengurangan risiko bencana. Ketiadaan sintesis terintegrasi tersebut menyebabkan arah pengembangan riset dan kebijakan mitigasi masih belum terstruktur secara konseptual dan berbasis bukti komprehensif. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan meninjau secara sistematis literatur ilmiah mengenai banjir bandang di Sumatra melalui integrasi analisis bibliometrik dan tematik untuk mengidentifikasi tren kajian, faktor pemicu utama, serta posisi pendidikan kebencanaan dan literasi ekologi dalam strategi mitigasi risiko.

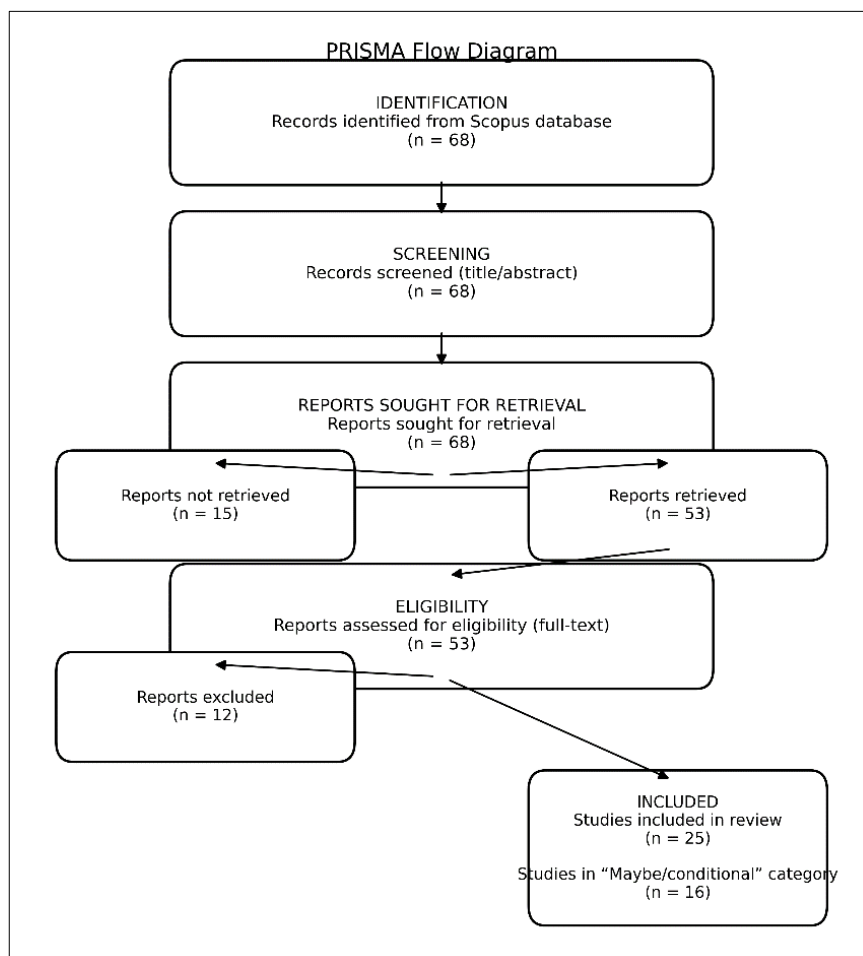
METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan *systematic literature review* (SLR) yang dipadukan dengan analisis bibliometrik dan analisis tematik untuk memetakan tren publikasi, struktur tema penelitian, serta mengidentifikasi kesenjangan kajian banjir bandang dalam kaitannya dengan perubahan iklim, perubahan tutupan lahan, dinamika daerah aliran sungai, dan strategi mitigasi termasuk pendidikan kebencanaan serta literasi ekologi. Pendekatan ini dipilih untuk memastikan sintesis literatur dilakukan secara sistematis, transparan, dan dapat direplikasi. Integrasi analisis bibliometrik dan tematik memungkinkan identifikasi pola perkembangan riset sekaligus pendalaman substansi isi kajian. Dengan demikian, metode yang digunakan tidak hanya bersifat deskriptif, tetapi juga analitis dalam memetakan lanskap penelitian secara komprehensif.

Sumber data diperoleh dari basis data Scopus karena menyediakan cakupan publikasi multidisipliner dan metadata yang memadai untuk analisis bibliometrik. Rentang publikasi dibatasi pada periode 2016–2025 guna menangkap perkembangan mutakhir penelitian banjir bandang dan risiko hidrometeorologi di wilayah tropis. Hasil penelusuran menghasilkan 68 dokumen yang diekspor dalam format CSV sebagai dataset awal penelitian. Strategi penelusuran dilakukan pada kolom title, abstract, dan keywords dengan kombinasi kata kunci seperti *flood*, *flash flood*, *climate change*, *extreme rainfall*, *land use change*, *watershed*, *disaster education*, dan *ecological literacy* menggunakan operator Boolean AND/OR untuk menjaring

literatur yang relevan secara tematik. Pembatasan periode dan penggunaan kombinasi kata kunci tersebut bertujuan menjaga relevansi, konsistensi, dan fokus kajian terhadap isu banjir bandang dalam konteks perubahan iklim dan dinamika wilayah tropis.

Seleksi literatur mengikuti pedoman PRISMA 2020 yang meliputi tahap identifikasi, penyaringan judul dan abstrak, penilaian kelayakan naskah lengkap, serta penetapan dokumen akhir. Dari 68 dokumen awal, 53 dokumen berhasil diperoleh dalam bentuk full-text, sedangkan 15 dokumen tidak dapat diakses. Setelah evaluasi kelayakan, 41 dokumen dipertahankan sebagai literatur relevan yang terdiri atas 25 dokumen inti dan 16 dokumen pendukung. Alur proses seleksi literatur disajikan pada Gambar 1. Proses seleksi ini dilakukan untuk memastikan bahwa hanya literatur yang memenuhi kriteria kualitas dan relevansi yang dianalisis lebih lanjut dalam tahap berikutnya.



Gambar 1. Diagram Alur Seleksi Literatur Berdasarkan PRISMA 2020

Kriteria inklusi meliputi publikasi ilmiah *peer-reviewed* periode 2016–2025 yang membahas banjir atau risiko hidrometeorologi serta memiliki metadata memadai. Kriteria eksklusi mencakup dokumen duplikat, metadata tidak lengkap, dan publikasi yang tidak relevan setelah evaluasi judul, abstrak, dan isi artikel. Analisis data dilakukan melalui dua tahap. Pertama, analisis bibliometrik pada seluruh *dataset* (n = 68) menggunakan perangkat lunak VOSviewer untuk memetakan tren publikasi dan ko-kemunculan kata kunci. Kedua, analisis tematik pada 41 dokumen terpilih melalui telaah judul, abstrak, kata kunci, dan isi artikel untuk

mengelompokkan literatur ke dalam tema perubahan iklim dan hujan ekstrem, perubahan tutupan lahan, dinamika DAS, tata ruang dan kerentanan, teknologi geospasial, serta pendidikan kebencanaan dan literasi ekologi. Interpretasi hasil difokuskan pada wilayah Sumatra (Aceh, Sumatera Utara, dan Sumatera Barat) untuk mengaitkan temuan bibliometrik dan tematik dengan karakteristik biofisik serta dinamika risiko banjir bandang setempat. Transparansi penelitian dijaga melalui dokumentasi tahapan seleksi PRISMA dan penyimpanan *dataset* dalam format CSV, sementara dokumen yang tidak tersedia *full-text* tidak dimasukkan dalam analisis isi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

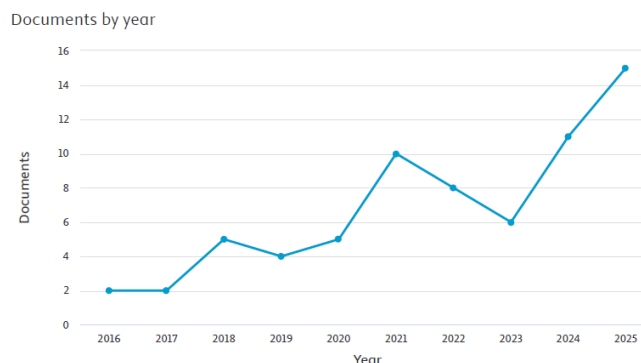
Hasil

Bagian ini menyajikan temuan penelitian berdasarkan tahapan analisis yang telah dilakukan, yaitu analisis bibliometrik dan analisis tematik. Penyajian hasil diawali dengan pemaparan tren publikasi, pola kolaborasi, serta struktur ko-kemunculan kata kunci untuk menggambarkan lanskap perkembangan riset banjir bandang secara kuantitatif. Selanjutnya, temuan tersebut diperdalam melalui analisis tematik guna mengidentifikasi kecenderungan fokus kajian, faktor pemicu utama, serta posisi pendidikan kebencanaan dan literasi ekologi dalam diskursus mitigasi risiko. Urutan penyajian ini dimaksudkan untuk memberikan gambaran komprehensif, mulai dari pola makro perkembangan penelitian hingga pendalaman substansi temuan secara konseptual.

Hasil Analisis Bibliometrik

A. Tren Publikasi Penelitian Banjir Bandang (2016–2025)

Untuk mengidentifikasi dinamika perkembangan riset banjir bandang dalam satu dekade terakhir, dilakukan pemetaan jumlah publikasi berdasarkan tahun penerbitan. Analisis ini memberikan gambaran kuantitatif mengenai intensitas perhatian akademik terhadap isu banjir bandang, khususnya dalam konteks perubahan iklim dan risiko hidrometeorologi di wilayah tropis. Fluktuasi jumlah publikasi dari tahun ke tahun juga dapat mencerminkan respons komunitas ilmiah terhadap peningkatan kejadian bencana serta urgensi penguatan strategi mitigasi. Hasil pemetaan tren publikasi penelusuran pada basis data *Scopus* menghasilkan 68 dokumen dalam rentang 2016–2025, disajikan pada Gambar 2.

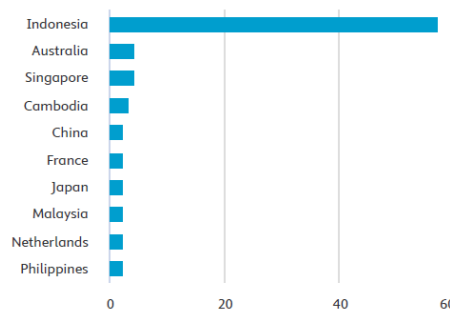


Gambar 2. Grafik Trens Publikasi Berdasarkan Tahun Penerbitan

Berdasarkan Gambar 2 diatas, publikasi menunjukkan kecenderungan meningkat pada periode akhir, terutama sejak 2023 hingga 2025. Tren ini mengindikasikan meningkatnya perhatian riset terhadap banjir bandang dan risiko hidrometeorologi di wilayah tropis, seiring

meningkatnya kejadian hujan ekstrem dan dampak banjir yang lebih luas. Peningkatan publikasi pada periode terbaru juga berkaitan dengan meningkatnya penggunaan teknologi pemodelan hidrologi-hidraulik, penginderaan jauh, serta pendekatan spasial untuk pemetaan bahaya dan kerentanan. Pola peningkatan tersebut selanjutnya dapat dipahami lebih lanjut melalui distribusi kontribusi negara sebagaimana ditampilkan pada Gambar 3, yang memperlihatkan negara-negara dengan jumlah publikasi tertinggi selama periode 2016–2025.

Documents by country/territory



Gambar 3. Negara dengan Jumlah Publikasi 2016-2025

Berdasarkan Gambar 3, Indonesia merupakan negara dengan jumlah publikasi penelitian banjir bandang terbanyak dalam periode 2016–2025. Sebaliknya, kontribusi publikasi terendah berasal dari Filipina dan Belanda. Pola ini menunjukkan dominasi kajian banjir bandang oleh negara dengan tingkat kejadian dan dampak banjir yang tinggi, yang mencerminkan urgensi kajian risiko hidrometeorologi di wilayah tropis. Temuan tersebut juga mengindikasikan bahwa intensitas produksi pengetahuan ilmiah cenderung sejalan dengan tingkat paparan bencana, kapasitas riset nasional, serta kebutuhan pengembangan strategi mitigasi berbasis konteks lokal.

B. Karakteristik dokumen dan bidang kajian dominan

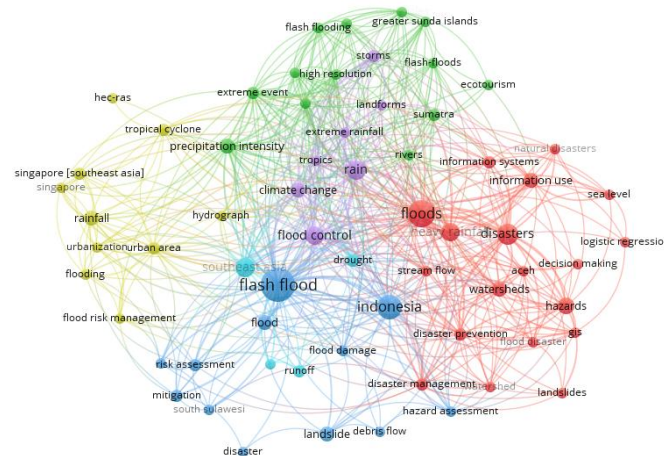
Berdasarkan klasifikasi jenis dokumen, hasil menunjukkan bahwa publikasi didominasi oleh artikel jurnal dan prosiding ilmiah. Dominasi prosiding mengindikasikan bahwa kajian banjir bandang berkembang cepat dan sering dipresentasikan dalam forum ilmiah, terutama pada tema pemodelan dan pemetaan bahaya berbasis teknologi. Dari sisi bidang kajian, literatur yang terkumpul banyak berasal dari ranah ilmu lingkungan dan ilmu kebumih, yang memperlihatkan dominasi kajian fisik-geografis (iklim, DAS, geomorfologi, dan hidrologi). Meskipun demikian, terdapat pula publikasi yang berorientasi sosial dan kebijakan, terutama terkait manajemen risiko banjir, tata ruang, serta strategi mitigasi nonstruktural.

C. Struktur tema penelitian berdasarkan ko-kemunculan kata kunci (VOSviewer)

Hasil visualisasi ko-kemunculan kata kunci menggunakan VOSviewer menunjukkan bahwa struktur tema penelitian banjir bandang membentuk beberapa kluster utama. Kluster-kluster ini merepresentasikan arah dominan kajian serta keterkaitan antarfaktor dalam pembentukan risiko banjir bandang. Secara umum, kluster tema dapat dikelompokkan menjadi enam kelompok besar sebagaimana ditampilkan pada Gambar 4 sebagai berikut:

1. kluster perubahan iklim dan hujan ekstrem, ditandai oleh kata kunci seperti *climate change*, *extreme rainfall*, *rainfall intensity*, dan *hydrometeorological hazards*. Tema ini

- menunjukkan fokus riset pada peningkatan kejadian hujan ekstrem serta implikasinya terhadap debit puncak dan kejadian banjir cepat.
2. klaster dinamika DAS dan hidrologi banjir bandang, meliputi kata kunci *watershed*, *catchment*, *runoff*, *peak discharge*, *morphometry*, serta hydrological modeling. Klaster ini menekankan pentingnya karakteristik fisik DAS, termasuk kemiringan lereng, bentuk DAS, dan waktu konsentrasi dalam menentukan respons banjir bandang.
 3. klaster perubahan tutupan lahan dan degradasi ekoloGIS, ditandai oleh kata kunci *land use change*, *land cover change*, *deforestation*, dan *soil erosion*. Tema ini merepresentasikan perhatian riset terhadap hilangnya fungsi regulasi hidrologi akibat perubahan lanskap.
 4. klaster teknologi geospasial, penginderaan jauh, dan pemetaan banjir, dengan kata kunci *GIS*, *remote sensing*, *Sentinel-1*, *SAR*, *flood mapping*, dan *hazard mapping*. Klaster ini menegaskan peningkatan peran teknologi dalam deteksi banjir dan pemetaan kerawanan.
 5. klaster tata ruang, kerentanan, dan paparan (*exposure*), ditandai oleh kata kunci *vulnerability*, *risk assessment*, *urbanization*, dan *spatial planning*. Tema ini menunjukkan bahwa perubahan tata ruang dan perkembangan kawasan permukiman meningkatkan paparan dan memperbesar potensi kerugian banjir.
 6. klaster mitigasi dan pendekatan nonstruktural, meliputi *disaster risk reduction*, *early warning system*, *community preparedness*, *disaster education*, serta *ecological literacy*. Tema ini relatif lebih kecil dibanding klaster fisik-hidrologi, namun penting sebagai arah riset penguatan ketangguhan sosial.



Gambar 4. Network Visualization Ko-Kemunculan Kata Kunci Penelitian Banjir Bandang (Vosviewer; 65 Items; 6 Clusters; Total Link Strength 768).

Gambar 4 menunjukkan bahwa analisis bibliometrik berbasis ko-kemunculan kata kunci menggunakan VOSviewer menghasilkan 65 item yang terklasifikasi ke dalam 6 klaster dengan 589 hubungan (*links*) dan *total link strength* sebesar 768. Peta jejaring menunjukkan bahwa tema penelitian didominasi oleh tiga simpul utama, yaitu *floods*, *flash flood*, dan *indonesia*, yang berperan sebagai pusat konektivitas antar topik. Klaster merah merepresentasikan kajian kebencanaan dan risiko banjir yang berkaitan dengan *hazards*, *watersheds*, *landslides*, serta aspek sistem informasi dan pengambilan keputusan. Klaster biru menonjol pada fokus *flash flood* yang terhubung dengan tema *runoff*, *risk assessment*, dan *disaster management*. Sementara itu, klaster hijau dan ungu memperlihatkan penguatan tema hidrometeorologi melalui *rain*, *extreme rainfall*, *precipitation intensity*, serta kaitannya dengan *climate change*.

Copyright (c) 2026 EDUCATIONAL: Jurnal Inovasi Pendidikan & Pengajaran

422

Kemudian pada Tema Perubahan tutupan lahan, deforestasi, dan konsekuensi hidrologi. Tema ini menunjukkan bahwa perubahan penggunaan lahan yang mengurangi tutupan vegetasi hutan dan meningkatkan lahan terbangun mempercepat limpasan permukaan serta meningkatkan debit puncak. Pada wilayah tropis, fragmentasi lanskap berkontribusi terhadap pelemahan kemampuan DAS dalam menahan dan menyerap air, sehingga meningkatkan potensi banjir bandang. Literatur juga menegaskan bahwa perubahan tutupan lahan tidak berdiri sendiri, melainkan berkaitan dengan ekspansi sektor ekonomi, tekanan pembangunan, dan lemahnya kontrol tata ruang. Dengan demikian, perubahan tutupan lahan menjadi salah satu faktor penting yang memperkuat risiko sistemik banjir bandang.

Sedangkan pada tema Dinamika DAS, morfometri, dan karakteristik banjir bandang. Tema ini menyoroti bahwa banjir bandang merupakan fenomena yang terbentuk dari kombinasi pemicu hujan intens dan karakteristik fisik DAS. Faktor seperti kemiringan lereng, bentuk DAS, panjang aliran, waktu konsentrasi, serta kondisi saluran sungai menentukan respons hidrologi yang cepat. Pada DAS kecil, perubahan kecil pada parameter fisik sering menghasilkan perubahan besar pada limpasan dan debit puncak. Kajian berbasis pemodelan hidrologi-hidraulik menunjukkan bahwa kombinasi data curah hujan intensitas tinggi, parameter DAS, dan simulasi aliran dapat digunakan untuk memperkirakan potensi banjir bandang, menentukan area genangan, serta mendukung perencanaan mitigasi.

Terakhir temuan pada tema Teknologi geospasial, penginderaan jauh, dan pemodelan untuk pemetaan risiko. Tema ini menunjukkan peningkatan kuat penggunaan teknologi pemetaan banjir dalam kajian banjir bandang, termasuk *GIS*, *remote sensing*, dan pemodelan hidrologi-hidraulik. Pemanfaatan *Sentinel-1 SAR* dan platform analisis berbasis *cloud* mempercepat deteksi banjir dan meningkatkan objektivitas pemetaan. Pada konteks mitigasi, pendekatan geospasial menjadi penting untuk mengidentifikasi zona rawan dan membantu penyusunan prioritas penanganan, baik melalui upaya struktural maupun nonstruktural. Di wilayah dengan keterbatasan data hidrologi, teknologi berbasis penginderaan jauh juga menjadi alternatif untuk meningkatkan monitoring kejadian banjir.

Kemudian pada tema Tata ruang, kerentanan, dan peningkatan paparan penduduk Tema ini menekankan bahwa risiko banjir bandang meningkat ketika pertumbuhan permukiman dan infrastruktur berkembang pada zona rawan tanpa kontrol ruang yang memadai. Beberapa studi menyoroti bahwa kebijakan tata ruang dapat menurunkan risiko apabila diarahkan pada pengendalian pemanfaatan lahan, perlindungan sempadan sungai, dan perencanaan adaptif berbasis risiko. Literatur juga menunjukkan bahwa kerentanan banjir bandang memiliki dimensi sosial, termasuk keterbatasan akses informasi, kualitas infrastruktur, serta kapasitas kelembagaan. Oleh karena itu, pengurangan risiko membutuhkan intervensi yang tidak hanya fisik-struktural, melainkan juga menyangkut tata kelola dan aspek sosial.

Penutup Pendidikan kebencanaan dan literasi ekologi sebagai strategi mitigasi nonstruktural. Tema ini memperlihatkan bahwa strategi mitigasi nonstruktural melalui pendidikan kebencanaan dan literasi ekologi memiliki peran penting dalam penguatan kesiapsiagaan masyarakat, terutama pada wilayah yang berulang kali mengalami bencana hidrometeorologi. Pendidikan kebencanaan dinilai efektif untuk meningkatkan pemahaman risiko, kemampuan respon, dan pembentukan perilaku mitigatif. Literatur juga menunjukkan bahwa pendekatan berbasis komunitas dan konservasi dapat menjadi pintu masuk penguatan literasi ekologi, khususnya dalam memahami hubungan perubahan lingkungan dengan risiko banjir bandang. Meski demikian, dibandingkan dominasi kajian fisik-hidrologi, tema pendidikan dan literasi ekologi masih relatif terbatas sehingga menjadi peluang pengembangan riset lebih lanjut, khususnya pada konteks Sumatra.

Pembahasan

1. Banjir bandang sebagai risiko yang dibentuk oleh interaksi bahaya dan sistem sosial

Hasil pemetaan bibliometrik memperlihatkan bahwa kajian banjir bandang dalam konteks tropis didominasi simpul *floods–flash flood–indonesia* yang terhubung dengan kata kunci pemicu (*rain, extreme rainfall*) serta faktor wilayah seperti *watersheds, hazards, dan landslides*. Pola ini menunjukkan bahwa banjir bandang dipahami sebagai fenomena risiko yang tidak hanya ditentukan oleh karakter bahaya fisik, tetapi juga dibentuk oleh dinamika sosial dan spasial. Secara karakteristik bahaya, literatur menegaskan bahwa banjir bandang dicirikan oleh *onset* yang cepat, sering terjadi dalam waktu beberapa jam setelah hujan intens, sehingga ruang respon untuk peringatan dan evakuasi sangat terbatas. Kondisi fisik seperti lereng curam, keberadaan material lepas, dan ukuran *catchment* yang kecil meningkatkan respons hidrologi yang cepat serta potensi *debris flow* dan longsor (Li et al., 2024). Dengan demikian, pengurangan risiko banjir bandang memerlukan pendekatan multidimensi yang menghubungkan analisis bahaya dan kerentanan sosial dalam satu kerangka mitigasi terpadu (Khajehei et al., 2020; Khairul et al., 2024; Tabasi et al., 2025; Sugiarti & Sunarty, 2025).

2. Intensifikasi hujan ekstrem sebagai jalur iklim yang menguatkan risiko, namun tidak berdiri sendiri

Keterhubungan kata kunci *rain, precipitation intensity, dan extreme rainfall* pada jejaring memperlihatkan bahwa peningkatan perhatian riset mengarah pada penguatan pemicu hidrometeorologi. Namun, banjir bandang bukan hasil deterministik dari hujan ekstrem semata. Dampak hujan ekstrem sangat bergantung pada kondisi DAS, struktur lanskap, serta kapasitas sistem peringatan dini dan respon masyarakat. Kajian pada konteks banjir bandang menegaskan bahwa efektivitas peringatan dan evakuasi sangat dipengaruhi faktor perilaku, persepsi risiko, dan tingkat kepercayaan publik terhadap informasi peringatan (Zhang et al., 2024; Papagiannaki et al., 2017; Guardiola-Albert et al., 2020; Ibrahim et al., 2024). Dengan kata lain, keterkaitan antara hujan ekstrem dan kejadian banjir bandang perlu dibaca sebagai relasi yang dimediasi oleh faktor fisik wilayah dan faktor sosial-respon, bukan hubungan sebab akibat tunggal.

3. Deforestasi dan perubahan lanskap bukti kuat sebagai penguat banjir, tetapi efeknya bergantung skala

Pola jejaring yang menghubungkan *landforms, watersheds, rivers, dan hazards* menguatkan bahwa kajian banjir bandang berkorelasi erat dengan perubahan sistem daratan. Secara global, deforestasi telah terbukti berkaitan dengan meningkatnya risiko dan keparahan banjir, terutama di negara berkembang, melalui peningkatan limpasan permukaan dan degradasi fungsi regulasi hidrologi (Abdelkareem & Mansour, 2023). Temuan tersebut diperkuat oleh bukti lintas wilayah yang menunjukkan bahwa hilangnya hutan dapat meningkatkan *runoff* dan *sediment yield* sehingga memperbesar *discharge* pada banyak *watershed*, yang pada akhirnya meningkatkan peluang banjir dan sedimentasi sungai (Netzer et al., 2019). Deforestasi juga memodifikasi proses atmosferik melalui perubahan pemanasan permukaan dan kelembapan, yang dapat memperkuat aktivitas badai lokal pada wilayah tertentu (Taylor et al., 2022). Selain itu, perubahan tata guna lahan pascadeforestasi seperti pertanian komoditas skala besar dapat memperburuk dampak iklim deforestasi melalui pengurangan vegetasi dan penurunan *latent heat flux* (Maeda et al., 2021). Dalam konteks Sumatra, temuan literatur yang menggabungkan pengetahuan lokal dan pengukuran ilmiah menunjukkan bahwa perubahan penggunaan lahan berkaitan dengan meningkatnya magnitudo

dan frekuensi banjir sungai, di mana peningkatan kepadatan tanah dan penurunan infiltrasi pada perkebunan monokultur dapat memperbesar limpasan permukaan dan mengubah rezim banjir (Merten et al., 2020; Djunarsjah et al., 2025; Alfian et al., 2024). Dengan demikian, integrasi perspektif perubahan lanskap, dinamika DAS, dan tekanan sosial-ekonomi menjadi penting untuk membaca banjir bandang sebagai krisis yang sistemik, bukan kejadian episodik.

4. Urbanisasi dan produksi risiko: pergeseran riset dari bahaya menuju sistem paparan

Overlay visualization menunjukkan bahwa urban area dan *urbanization* muncul sebagai tema yang relatif lebih mutakhir. Secara teoritis, hal ini menguatkan argumen bahwa risiko banjir modern meningkat bukan hanya karena bahaya, tetapi juga karena akumulasi paparan penduduk dan aset pada area rawan. Sejalan dengan itu, penelitian persepsi sosial banjir bandang menunjukkan bahwa wilayah yang mengalami pertumbuhan penduduk cenderung meningkatkan kerentanan baik secara fisik (paparan infrastruktur) maupun ekonomi (aset yang terekspos), dan pada beberapa kasus diperburuk oleh rendahnya pemahaman masyarakat terhadap risiko setempat (Erima, 2025). Namun, urbanisasi tidak selalu identik dengan peningkatan risiko apabila disertai kebijakan ruang yang adaptif, sistem drainase memadai, serta kerangka manajemen risiko yang kuat.

5. Sosio-hidrologi, menjelaskan hubungan timbal balik manusia–banjir secara dinamis

Keterhubungan kata kunci *disasters*, *decision making*, *information systems*, dan *disaster management* dengan node fisik (*floods*, *watersheds*, *rain*) menunjukkan bahwa riset banjir bandang semakin bergerak ke arah pemahaman yang melibatkan dinamika sosial. Studi lanjutan memperlihatkan bahwa memori kolektif, sikap pengambilan risiko, dan tingkat kepercayaan masyarakat terhadap sistem perlindungan banjir berperan dalam membentuk trajektori risiko dari waktu ke waktu (Papagiannaki et al., 2017; Saminan et al., 2025; Tunas et al., 2024). Sebagai teori pembanding yang kritis, sosio-hidrologi juga perlu digunakan dengan kehati-hatian agar tidak menyederhanakan perilaku manusia sebagai variabel tunggal, karena kerentanan dibentuk oleh struktur ekonomi-politik, ketimpangan, institusi, dan relasi kekuasaan yang kompleks (Juita, 2025). Perspektif ini penting agar analisis banjir bandang di Indonesia tidak berhenti pada aspek teknis, melainkan mempertimbangkan konteks tata kelola dan kapasitas kelembagaan yang memengaruhi implementasi mitigasi.

6. Teknologi geospasial dan sistem informasi: kuat untuk pemetaan bahaya, tetapi perlu literasi risiko

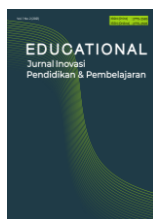
Arah riset banjir bandang juga memperlihatkan penguatan pada pendekatan integratif berbasis teknologi, khususnya penggunaan *GIS* dan integrasi data hidrometeorologi-sosial untuk penilaian risiko. Pendekatan *GIS-based risk assessment* dinilai efektif untuk menggabungkan komponen bahaya dan kerentanan guna mengidentifikasi zona rawan secara spasial, terutama pada *watershed* kecil yang responsnya cepat (Khajehei et al., 2020; Godara et al., 2024; Pratama et al., 2024). Namun, literatur respon sosial menegaskan bahwa kualitas peringatan dini tidak hanya ditentukan oleh akurasi teknis, melainkan juga oleh respons manusia. Efektivitas peringatan banjir bandang sangat dipengaruhi oleh kepercayaan, persepsi risiko, dan perilaku evakuasi, sehingga pengembangan sistem informasi perlu diseimbangkan dengan strategi komunikasi risiko dan penguatan literasi masyarakat (Zhang et al., 2024; Guardiola-Albert et al., 2020). Oleh sebab itu, pendidikan kebencanaan dan literasi ekologi dalam konteks pembelajaran geografi menjadi penting untuk memastikan peta bahaya, informasi risiko, dan peringatan dini dapat dipahami dan ditindaklanjuti secara efektif.

7. Implikasi mitigasi dan arah riset untuk Sumatra (Aceh–Sumut–Sumbar)

Pembahasan hasil ini menegaskan bahwa mitigasi banjir bandang di Sumatra perlu diarahkan pada integrasi tiga pilar. Pertama, penguatan mitigasi berbasis DAS melalui konservasi hulu, pengendalian sedimentasi, dan rehabilitasi kawasan penyangga sungai untuk menjaga fungsi regulasi hidrologi lanskap. Kedua, penguatan tata ruang adaptif yang mengendalikan peningkatan paparan pada zona rawan, terutama pada wilayah yang mengalami ekspansi permukiman dan peningkatan aset. Ketiga, penguatan sistem informasi kebencanaan yang dipadukan dengan literasi risiko melalui pendidikan kebencanaan dan literasi ekologi, sehingga masyarakat mampu memahami dan memanfaatkan informasi peringatan dengan efektif. Riset lanjutan di Aceh, Sumatera Utara, dan Sumatera Barat perlu difokuskan pada: (1) analisis multi-sumber hujan ekstrem untuk mengidentifikasi ambang kritis banjir bandang pada *catchment* kecil; (2) evaluasi spasial-temporal perubahan tutupan lahan dan implikasinya terhadap limpasan dan sedimentasi; (3) evaluasi efektivitas tata ruang pada zona rawan; serta (4) pengembangan model pendidikan kebencanaan berbasis geografi yang mengintegrasikan peta bahaya, literasi spasial, dan simulasi kesiapsiagaan sekolah–komunitas. Meskipun analisis bibliometrik memberikan gambaran struktur tema dan evolusi topik penelitian, ko-kemunculan kata kunci berbasis metadata tidak selalu merepresentasikan keseluruhan substansi artikel. Oleh karena itu, integrasi bibliometrik dengan analisis tematik berbasis *full-text* merupakan strategi yang tepat untuk memperkuat validitas sintesis. Selain itu, transparansi seleksi literatur yang dilaporkan sesuai PRISMA 2020 memperkuat keterlacakan dan replikasi penelitian (Page et al., 2021). Kontribusi utama kajian ini adalah menyatukan sintesis fisik-hidrologi (bahaya dan dinamika DAS) dengan dimensi sosial-edukatif (literasi risiko dan pendidikan kebencanaan) melalui kerangka PRISMA 2020 (Saminan et al., 2024; Khairul & Saminan, 2025; Prasetyo, 2022). Dengan fokus pada Sumatra, kajian ini menegaskan bahwa mitigasi banjir bandang membutuhkan integrasi kebijakan ruang dan penguatan pembelajaran geografi berbasis literasi risiko.

KESIMPULAN

Penelitian ini menegaskan bahwa banjir bandang di wilayah tropis, khususnya Sumatra (Aceh, Sumatera Utara, dan Sumatera Barat), merupakan risiko hidrometeorologi yang terbentuk dari interaksi antara pemicu iklim, dinamika biofisik daerah aliran sungai, perubahan lanskap, serta sistem sosial yang menentukan tingkat paparan dan kerentanan. Melalui pendekatan *systematic literature review* yang dipadukan dengan analisis bibliometrik dan tematik, kajian ini menunjukkan bahwa perkembangan riset banjir bandang tidak hanya berfokus pada aspek fisik-hidrologi seperti hujan ekstrem dan karakteristik DAS, tetapi juga semakin mengarah pada dimensi tata kelola risiko, urbanisasi, dan perencanaan spasial. Temuan penelitian menegaskan bahwa perubahan tutupan lahan dan deforestasi cenderung memperbesar risiko banjir melalui peningkatan limpasan dan sedimentasi, meskipun pengaruhnya bergantung pada skala dan kondisi lokal. Di sisi lain, kemajuan teknologi geospasial memperkuat kapasitas pemetaan bahaya dan deteksi banjir, namun efektivitasnya tetap ditentukan oleh literasi risiko dan respons masyarakat terhadap informasi peringatan. Pendidikan kebencanaan dan literasi ekologi muncul sebagai strategi nonstruktural yang penting untuk memperkuat ketangguhan jangka panjang, meskipun porsinya dalam literatur masih relatif terbatas. Secara praktis, mitigasi banjir bandang di Sumatra memerlukan integrasi tiga pilar utama, yaitu penguatan mitigasi berbasis DAS, pengendalian tata ruang adaptif, serta penguatan sistem informasi kebencanaan yang disertai literasi risiko melalui pendidikan



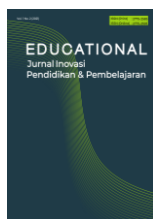
geografi. Kajian ini memberikan dasar ilmiah bagi pengembangan strategi mitigasi banjir bandang yang lebih holistik, adaptif, dan berkelanjutan di wilayah tropis.

DAFTAR PUSTAKA

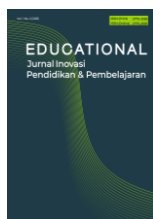
- Abdelkareem, M., & Mansour, A. M. (2023). Risk assessment and management of flash flood hazards using remote sensing & GIS. *Natural Hazards*, 117, 2269–2295. <https://doi.org/10.1007/s11069-023-05942-x>
- Ajjur, S. B., & Al-Ghamdi, S. G. (2024). Runoff uncertainty associated with global climate model chosen in regional climate modeling. *Proceedings of the International Association of Hydrological Sciences*, 385, 333–337. <https://doi.org/10.5194/piahs-385-333-2024>
- Ajtai, I., Radovici, S. A., Botezan, C., Oprea, M., & Baci, C. (2021). Flood Risk Management and Spatial Planning. The Impact of Land use Changes on Flood Damages: Case Study of Resita City. *International Multidisciplinary Scientific GeoConference: SGEM*, 21(3.1), 91-98. <https://doi.org/10.5593/sgem2021/3.1/s12.13>
- Alfian, D., Meilianda, E., Ahmad, A., Syukri, M., & Opdyke, A. (2024). Application of spatial model the contribution of land subsidence caused by palm oil plantations land clearing to the escalating flood risk in the Trumon area, South Aceh Regency, Indonesia. In *E3S Web of Conferences* (Vol. 476, p. 01056). EDP Sciences. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202447601056>
- Ardiansyah, M., Nugraha, R. A., Iman, L. O. S., & Djatmiko, S. D. (2021). Impact of Land Use and Climate Changes on Flood Inundation Areas in the Lower Cimanuk Watershed, West Java Province. *Jurnal Ilmu Tanah Dan Lingkungan*, 23(2), 51-58. <https://doi.org/10.29244/jitl.23.2.53-60>
- Bachri, S., & Faisol, A. (2023). Zonation of Flood-Prone Areas Based on Remote Sensing Data and Hydrodynamic Models. *Jurnal Teknik Pertanian Lampung (Journal of Agricultural Engineering)*, 12(2), 509–523. <https://doi.org/10.23960/jtep-l.v12i2.509-523>
- BNPB. (2024). *Laporan kebencanaan dan kejadian bencana hidrometeorologi tahun 2024*. Badan Nasional Penanggulangan Bencana.
- Bodoque, J. M., Amérigo, M., Díez-Herrero, A., García, J. A., Cortés, B., Ballesteros-Cánovas, J. A., & Olcina, J. (2016). Improvement of resilience of urban areas by integrating social perception in flash-flood risk management. *Journal of Hydrology*, 541, 665–676. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2016.02.005>
- Dian, R., Lismawaty, L., Pinem, D. E., & Sianipar, B. B. (2018, November). Flood vulnerability and flood-prone area map at Medan City, Indonesia. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 200, No. 1, p. 012039). IOP Publishing. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/200/1/012039>
- Djunarsjah, E., Wisayantono, D., Julian, M.M. *et al.* Identification of flood causes and flood modeling for the reconstruction of affected land in Bireuen District, Aceh Province, Indonesia. *Nat Hazards* 121, 11553–11592 (2025). <https://doi.org/10.1007/s11069-025-07252-w>
- Erima, G., Bamutaze, Y., Gidudu, A., Egeru, A., & Kabenge, I. (2025). Dimensions and drivers of social vulnerability to flood risk in Manafwa catchment, Eastern Uganda. *Cogent Social Sciences*, 11(1), 2493353. <https://doi.org/10.1080/23311886.2025.2493353>
- Fadhil, A. M., & Akhyar. (2023). Visual and semi-automated interpretation methods for urban flood detection using SAR Sentinel-1A image: study case in North Aceh Regency, Indonesia. *Disaster Advances*, 16(2), 30–40. <https://doi.org/10.25303/1602da030040>



- Fu, Q., Zhang, X., & Othman, S. N. (2024). Promoting community resilience through disaster education: Review of community-based interventions with a focus on teacher resilience and well-being. *PLOS ONE*. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0296393>
- Gawrysiak, L., Baran-Zgłobicka, B., & Zgłobicki, W. (2024). Flash Floods Hazard to the Settlement Network versus Land Use Planning (Lublin Upland, East Poland). *Applied Sciences*, 14(18), 8425. <https://doi.org/10.3390/app14188425>
- Godara, N., Challana, A., Bansal, T., & Bawa, A. (2024). Geospatial Techniques for Flash Flood Hazard Assessment and Management. *Sustainable Development Using Geospatial Techniques*, 241-262. <https://doi.org/10.1002/9781394214426.ch10>
- Gómez, A. M., Parra, A., Pavelsky, T. M., Wise, E., Villegas, J. C., & Meijide, A. (2023). Ecohydrological impacts of oil palm expansion: a systematic review. *Environmental Research Letters*, 18(3), 033005. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/acbc38>
- Guardiola-Albert, C., Díez-Herrero, A., Amérigo, M., Aroca-Jiménez, E., & García, J. A. (2020). Analysing *flash flood* risk perception through a geostatistical approach in the village of Navalunga, Central Spain. *Journal of Flood Risk Management*, 13(4), e12659. <https://doi.org/10.1111/jfr3.12590>
- Hurtado-Pidal, J., Acero Triana, J. S., & Aguayo, M. (2022). Is forest location more important than forest fragmentation for flood regulation? *Ecological Engineering*, 183, 106764. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2022.106764>
- Ibrahim M, Huo A, Ullah W, Ullah S, Ahmad A and Zhong F (2024) Flood vulnerability assessment in the flood prone area of Khyber Pakhtunkhwa, Pakistan. *Front. Environ. Sci.* 12:1303976. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2024.1303976>
- IPCC. (2022). *Climate change 2022: Impacts, adaptation and vulnerability. Summary for policymakers* (WGII AR6). https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/downloads/report/IPCC_AR6_WGII_SummaryForPolicymakers.pdf
- Isma, F., Kusuma, M. B., Nugroho, E. O., & Adityawan, M. B. (2024). Flood hazard assessment in Kuala Langsa village, Langsa city, Aceh Province-Indonesia. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, 10, 100861. <https://doi.org/10.1016/j.cscee.2024.100861>
- Juita, E., Dasrizal, Ibrahim, M. H., Yuniarti, E., Ulri, A. Z. P., & Soni. (2025). What Can Spatial Assessment Reveal About Flash Flood Risk and Ecosystem Carrying Capacity in Tropical Highland Environments?. *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA*, 11(11), 674–683. <https://doi.org/10.29303/jppipa.v11i11.11889>
- Khairul, M., & Saminan, N. (2025). Beyond Technocentrism: A Tripartite Framework for Humanizing AI-Integrated Digital Content in Geography/Social Studies. *Equator Science Journal*, 3(2), 89-97. <https://doi.org/10.61142/esj.v3i2.232>
- Khairul, M., Rohmat, D., Yani, A., & Saminan, N. F. (2024). Review of *Ecovillages and ecocities – Bioclimatic applications from Tirana, Albania* by K. Xhexhi. *Cham, Switzerland: Springer*. <https://doi.org/10.1080/14888386.2024.2368512>
- Khajehei, S., Ahmadalipour, A., Shao, W., & Moradkhani, H. (2020). A place-based assessment of *flash flood* hazard and vulnerability in the contiguous United States. *Scientific Reports*, 10, 440. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-57349-z>
- Legono, D., Harset, D., Hairani, A., Ikhsan, J., & Harsanto, P. (2022, December). Precursory characteristics of flash flood occurrence in small catchment of upper Brantas River. In *IOP conference series: Earth and Environmental Science* (Vol. 1105, No. 1, p. 012002). IOP Publishing. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1105/1/012002>



- Li, Q., Li, Y., Zhao, L., Zhang, Z., Wang, Y., & Ma, M. (2024). Comprehensive risk assessment framework for flash floods in China. *Water*, 16(4), 616. <https://doi.org/10.3390/w16040616>
- Logayah, D. S., Maryani, E., Ruhimat, M., & Wiyanarti, E. (2022, February). The importance of disaster mitigation literacy in social studies learning. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 986, No. 1, p. 012015). IOP Publishing. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/986/1/012015>
- Lubis, M. I., Linkie, M., & Lee, J. S. H. (2024). Tropical forest cover, oil palm plantations, and precipitation drive flooding events in Aceh, Indonesia, and hit the poorest people hardest. *PLOS ONE*, 19(10), e0311759. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0311759>
- Ma, H., Zhong, L., Fu, Y., Cheng, M., Wang, X., Cheng, M., & Chang, Y. (2023). A study on hydrological responses of the Fuhe River Basin to combined effects of land use and climate change. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 48, 101476. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2023.101476>
- Maeda, E. E., Abera, T. A., Siljander, M., et al. (2021). Large-scale commodity agriculture exacerbates the climatic impacts of Amazonian deforestation. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 118(7), e2023787118. <https://doi.org/10.1073/pnas.2023787118>
- Meresa, H., Tischbein, B., & Mekonnen, T. (2022). Climate change impact on extreme precipitation and peak flood magnitude and frequency: observations from CMIP6 and hydrological models. *Natural Hazards*, 111(3), 2649–2679. <https://doi.org/10.1007/s11069-021-05152-3>
- Merten, J., Stiegler, C., Hennings, N., Purnomo, H., & Faust, H. (2020). Flooding and land use change in Jambi Province, Sumatra: Integrating local knowledge and scientific inquiry. *Ecology and Society*, 25(3), 14. <https://doi.org/10.5751/ES-11678-250314>
- Netzer, M. S., Sidman, G., Pearson, T. R. H., Walker, S. M., & Srinivasan, R. (2019). Combining Global Remote Sensing Products with Hydrological Modeling to Measure the Impact of Tropical Forest Loss on Water-Based Ecosystem Services. *Forests*, 10(5), 413. <https://doi.org/10.3390/f10050413>
- Nifa, F. A. A., Abbas, S. R., Lin, C. K., & Othman, S. N. (2017, October). Developing a disaster education program for community safety and resilience: The preliminary phase. In *AIP Conference Proceedings* (Vol. 1891, No. 1, p. 020005). AIP Publishing LLC. <https://doi.org/10.1063/1.5005338>
- Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., et al. (2021). The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ*, 372, n71. <https://doi.org/10.1136/bmj.n71>
- Papagiannaki, K., Kotroni, V., Lagouvardos, K., Bezes, A., & Stavrakakis, G. (2017). Urban area response to flash flood-triggering rainfall, featuring human behavioral factors: The case of 22 October 2015 in Attica, Greece. *Weather, Climate, and Society*, 9(1), 17–31. <https://doi.org/10.1175/WCAS-D-16-0068.1>
- Prasetyo, K. (2022). Flash flood Disaster Mitigation Through Environmental Education. *Geomatics and Environmental Engineering*, 16(4), 119–134. <https://doi.org/10.7494/geom.2022.16.4.119>
- Pratama, T. R. Y., Fatimah, E., Syahreza, S., & Julian, M. M. (2024, June). Modeling flood characteristics in the Krueng Keureuto river basin in North Aceh regency using the Jams/J2000 application. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental*



- Science* (Vol. 1356, No. 1, p. 012067). IOP Publishing. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1356/1/012067>
- Rizal E, Winoto Y, Sugito T, Nugroho C and Septian FI (2025) Disaster communication in the digital age: a community-based case study of media, education, and local knowledge in Pangandaran, Indonesia. *Front. Commun.* 10:1632436. <https://doi.org/10.3389/fcomm.2025.1632436>
- Saminan, N. F., Khairul, M., Diniya, D., Ridwan, I. M., & Saminan, S. (2025). Menumbuhkan Sikap Spiritual Mahasiswa Melalui Pembelajaran IPBA: Integrasi Video Theistic pada Konsep Siklus Hidrologi. *Jurnal Pendidikan Geosfer*, 10(1), 204-215. <https://doi.org/10.24815/jpg.v10i1.47089>
- Saminan, N. F., Suhandi, A., Riandi, R., Kaniawati, I., Khairul, M., Syafrizal, S., & Saminan, S. (2024). Disaster Literacy Inventory at Earth and Space Sciences (ESS) Lectures as Education in the Post-Covid-19 Pandemic. *KnE Social Sciences*, 932-942. <https://doi.org/10.18502/kss.v9i13.16019>
- Sugiarti, A. S., & Sunarty, R. (2025, April). The Impact of Land-Use change for Flood (Case Study in Teunom Sub-District, Aceh Jaya Regency). In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 1479, No. 1, p. 012020). IOP Publishing. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1479/1/012020>
- Sumarga, E., Hein, L., Hooijer, A., & Vernimmen, R. (2016). Hydrological and economic effects of oil palm cultivation in Indonesian peatlands. *Ecology and Society*, 21(2). <http://www.jstor.org/stable/26270398>
- Tabasi, N., Fereshtepour, M., & Roghani, B. (2025). A review of flood risk assessment frameworks and the development of hierarchical structures for risk components. *Discover Water*, 5(1), 10. <https://doi.org/10.1007/s43832-025-00193-2>
- Taylor, C. M., Klein, C., Parker, D. J., et al. (2022). “Late-stage” deforestation enhances storm trends in coastal West Africa. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 119(46), e2200930119. <https://doi.org/10.1073/pnas.2109285119>
- Tunas, I. G., Harsanto, P., & Arafat, Y. (2024). Flood Mitigation Scenario Using Structural Equation Modelling (SEM) Based on Public Participation and Local Wisdom. *Mathematical Modelling of Engineering Problems*, 11(12), 3209–3220. <https://doi.org/10.18280/mmep.111201>
- Zain, A., Legono, D., Rahardjo, A. P., & Jayadi, R. (2021, December). Review on co-factors triggering flash flood occurrences in Indonesian small catchments. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 930, No. 1, p. 012087). IOP Publishing. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/930/1/012087>
- Zhang, R., Liu, D., Du, E., Xiong, L., Chen, J., & Chen, H. (2024). An agent-based model to simulate human responses to flash flood warnings for improving evacuation performance. *Journal of Hydrology*, 628, 130452. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2023.130452>