



## Integrasi Google Earth Engine ke dalam modul pembelajaran digital: Meningkatkan pemahaman fenomena kekeringan pada siswa geografi

Muhammad Rizieq Fahmi <sup>1\*</sup>, Purwanto<sup>2</sup>, Syamsul Bachri <sup>3</sup>

Departemen Geografi, Universitas Negeri Malang, Kota Malang, Indonesia

<sup>1</sup> [muhammad.rizieq.2207218@students.um.ac.id](mailto:muhammad.rizieq.2207218@students.um.ac.id) \*; <sup>2</sup> [purwanto.fis@um.ac.id](mailto:purwanto.fis@um.ac.id) ; <sup>3</sup> [syamsul.bachri.fis@um.ac.id](mailto:syamsul.bachri.fis@um.ac.id)

\*korespondensi penulis

Informasi artikel	ABSTRAK
<p><i>Sejarah artikel</i></p> <p>Diterima : 4 Oktober 2024</p> <p>Revisi : 14 Oktober 2024</p> <p>Dipublikasikan : 31 November 2024</p> <p><b>Kata kunci:</b></p> <p>Modul Ajar Digital</p> <p>Kekeringan</p> <p>Google Earth Engine</p> <p>Pembelajaran Geografi</p>	<p>Indonesia sebagai salah satu negara yang memiliki potensi bencana kekeringan yang tinggi, sehingga perlu pengurangan risiko bencana berupa peningkatan kapasitas masyarakat, salah satunya melalui pendidikan. Namun, pelaksanaan pembelajaran mitigasi kekeringan di SMA masih minim karena kurangnya bahan ajar digital yang memfasilitasi pembelajaran kekeringan. Maka, penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan modul ajar digital berbasis spasial yang memanfaatkan Google Earth Engine (GEE) untuk meningkatkan pemahaman siswa SMA terhadap fenomena kekeringan. Modul ini dirancang untuk menyajikan materi kekeringan dengan memadukan visualisasi spasial dan data penginderaan jauh melalui platform Google Sites. Penelitian ini menggunakan model ADDIE (<i>Analysis, Design, Development, Implementation, and Evaluation</i>) dengan uji coba melibatkan tiga sekolah di Jawa Timur. Penilaian para ahli, guru, dan siswa menunjukkan bahwa modul ini memperoleh penilaian sangat baik dalam cakupan materi, media, serta implementasinya. Skor N-Gain menunjukkan peningkatan hasil belajar siswa pada kategori sedang dengan indikator pemahaman identifikasi kekeringan memperoleh peningkatan tertinggi. Meskipun modul ini menunjukkan efektivitas dalam meningkatkan pemahaman siswa terhadap kekeringan, siswa masih memerlukan waktu adaptasi lebih lama terhadap penggunaan data spasial. Selain itu, pengembangan lebih lanjut perlu difokuskan pada perluasan implementasi modul dalam skala luas serta integrasi strategi pembelajaran yang mendukung keterampilan dasar geografi, seperti kemampuan berpikir spasial, keterampilan pemecahan masalah, dan berpikir kritis.</p>
<p><b>Keywords:</b></p> <p>Digital Learning Module</p> <p>Drought</p> <p>Google Earth Engine (GEE)</p> <p>Geography Learning</p>	<p><b>ABSTRACT</b></p> <p>Indonesia as one of the countries with high potential for drought disasters, so it is necessary to reduce disaster risks in the form of increasing community capacity, one of which is through education. However, the implementation of drought mitigation learning in high schools is still minimal due to the lack of digital teaching materials that facilitate drought learning. Therefore, this study aims to develop a spatial-based digital teaching module that utilizes Google Earth Engine (GEE) to improve high school students' understanding of the drought phenomenon. This module is designed to present drought material by combining spatial visualization and remote sensing data through the Google Sites platform. This study uses the ADDIE (<i>Analysis, Design, Development, Implementation, and Evaluation</i>) model with trials involving three schools in East Java. Assessments by experts, teachers, and students show that this module</p>

received very good ratings in terms of material coverage, media, and implementation. The N-Gain score shows an increase in student learning outcomes in the moderate category with the indicator of understanding drought identification getting the highest increase. Although this module shows effectiveness in improving students' understanding of drought, students still need a longer adaptation time to the use of spatial data. In addition, further development needs to be focused on expanding the implementation of the module on a wide scale as well as integrating learning strategies that support basic geography skills, such as spatial thinking skills, problem-solving skills, and critical thinking.

© 2024 (Muhammad Rizieq Fahmi). All Right Reserved

## Pendahuluan

Kekeringan adalah salah satu bencana hidrometeorologi kompleks dengan skala area dan waktu yang luas. Bencana ini ditandai dengan menurunnya simpanan air permukaan dan dalam tanah akibat dinamika curah hujan. Kekeringan terjadi secara bertingkat, sehingga dampak nyataanya sulit dikenali dalam waktu singkat ([Haile et al., 2020](#); [Hao et al., 2018](#); [Maybank et al., 1995](#)). Dampaknya meliputi hambatan pada pertumbuhan ekonomi, konflik sosial, dan masalah lingkungan di sejumlah negara ([Azadi et al., 2018](#); [Bogale & Erena, 2022](#)). Selain itu, sejumlah penelitian memprediksi bahwa ancaman kekeringan meningkat seiring dengan pemanasan global ([Han et al., 2021](#); [Kim et al., 2023](#); [Zeng et al., 2023](#)). Oleh karena itu, urgensi mitigasi perlu segera dilaksanakan mulai dari dasar.

Indonesia merupakan negara yang memiliki risiko kekeringan tinggi akibat dinamika atmosferik dan tingginya populasi manusia. Pada kondisi El-Nino, jumlah curah hujan di seluruh provinsi menurun hingga 75% daripada kondisi normal ([Firmansyah et al., 2022](#)). Hal ini berdampak pada kekurangan air bersih dan gagal panen pada masyarakat. Bahkan, setiap tahunnya, frekuensi dan keparahan kekeringan berpotensi meningkat seiring dengan pemanasan global ([Han et al., 2021](#); [Pokhrel et al., 2021](#); [Vicente-Serrano et al., 2020](#)). Lebih dari itu, apabila tidak ada mitigasi, *Cascading Effect* kekeringan dapat mempeburuk keadaan seperti degradasi lahan, menurunnya kesejahteraan masyarakat, kelaparan, dan kekurangan gizi ([Khatri et al., 2024](#); [Narayan et al., 2024](#); [Slayi et al., 2024](#)).

Implementasi mitigasi kekeringan bersifat perlu dan dapat diwujudkan dalam metakognisi pada setiap individu. Rendahnya kesadaran dalam mengupayakan mitigasi bencana kekeringan dapat mendorong kerugian dengan skala lebih besar ([Farsani et al., 2017](#)). Bahkan, masyarakat perlu mengenali kekeringan sebagai fenomena sebagai sistem secara kompleks dari skala lokal hingga global ([Haile et al., 2020](#); [Pyhälä et al., 2016](#)). Pengenalan sistem kekeringan secara mendalam dan multi skala penting sebagai dasar masyarakat dalam melaksanakan mitigasi bencana kekeringan. Kesadaran mitigasi kekeringan pada wilayah dengan bahaya dan kerentanan kekeringan yang tinggi dapat meminimalisir dampak bencana ([Hagenlocher et al., 2019](#)).

Selama ini, penerapan pembelajaran kebencanaan di SMA masih belum maksimal. Padahal, mengacu pada Kerangka Sendai 2015-2030, Pemerintah Indonesia telah menjadikan literasi bencana sebagai prioritas yang tertuang dalam Kurikulum Merdeka. Namun, pelaksanaannya masih memiliki beberapa kelemahan, yaitu kurangnya pengembangan kapasitas guru dalam pembelajaran kebencanaan, kurangnya apresiasi kepada para pendukung literasi mitigasi bencana, terutama kurangnya bahan ajar kebencanaan berbasis lokal ([Amri et al., 2022](#); [N. Hamid, Trihatmoko, et al., 2021](#)). Mayoritas pembelajaran bencana di Indonesia masih berfokus pada konsep-konsep yang paling mendasar, bahkan tidak cukup untuk menjawab pertanyaan "Apa itu bencana?". Masyarakat masih memandang diri mereka sebagai entitas yang menjadi sasaran bencana, bukan sebagai agen

utama yang berusaha meningkatkan pengetahuan dan kapasitas untuk membantu dalam penanggulangan bencana ([Ashari & Sutrisnowati, 2021](#); [Bachri et al., 2024](#); [Sobel & Leeson, 2010](#)).

Konten buku guru dan siswa dalam kurikulum merdeka oleh Pemerintah Indonesia telah memfasilitasi siswa dalam mengidentifikasi sebaran, dampak, mitigasi dan adaptasi terhadap kekeringan. Namun, konten tersebut belum mengkonstruksi pemahaman siswa terhadap fenomena kekeringan secara mendalam. Siswa perlu menganalisis dinamika kekeringan yang dipengaruhi oleh faktor meteorologi-klimatologi, geografi, dan aktivitas manusia dalam skala global hingga lokal ([Brunner et al., 2021](#); [Legg, 2023](#); [Wilhite & Glantz, 1985](#)). Selain itu, siswa juga perlu mengidentifikasi variasi intensitas keparahan kekeringan secara spasio-temporal ([Brunner et al., 2021](#); [Dikshit et al., 2022](#); [Hagenlocher et al., 2019](#)). Penguasaan kompetensi tersebut memungkinkan siswa untuk mengeksplorasi masalah kekeringan, terlibat dalam pemecahan masalah ([Tomlinson & Rhiney, 2018](#)), mengambil tindakan untuk memperbaiki lingkungan atau mengurangi dampak ([Kamil et al., 2020](#)), menanggapi tantangan lingkungan ([Tramonti et al., 2024](#)), dan mengelola perilaku mereka dalam ekosistem untuk hidup dengan cara yang lebih sustainable ([Farsani et al., 2017](#); [Yu et al., 2021](#)).

Salah satu solusi yang dapat dilakukan untuk mempermudah siswa dalam mempelajari fenomena kekeringan adalah dengan mengembangkan perangkat pembelajaran, yaitu modul ajar digital bencana kekeringan. Pemahaman siswa terhadap mitigasi bencana dapat meningkat melalui modul ajar digital ([Bachri et al., 2024](#); [Li et al., 2022](#); [Sakurai & Shaw, 2022](#)), termasuk pada bencana kekeringan. Keunggulan penggunaan modul ajar digital telah mengalami perkembangan, yaitu kemudahan dalam mengakses ([S. Hamid et al., 2021](#)), menghilangkan hambatan dalam pencarian sumber belajar daring ([Coman et al., 2020](#)), mampu menampilkan multimedia interaktif ([Kusyanti, 2021](#)), dan integrasi terhadap lembar kerja siswa secara

digital ([Kaczorowski et al., 2019](#); [McIntyre et al., 2018](#)). Selain itu, alat penyusun modul ajar interaktif juga telah berkembang, salah satunya dengan Google Sites. Melalui Google Sites, guru dapat menyusun modul ajar dalam bentuk website dengan fitur drag and drop, semacam website builder instan ([Rajeshwari, 2021](#)). Maka, guru dapat mengintegrasikan media pembelajaran di dalamnya secara optimal, sehingga penjelasan konten yang bersifat abstrak dapat dimaksimalkan. Disamping itu, pengguna dapat mengakses modul ajar digital secara efisien melalui laptop dan gawai, sehingga modul ini dapat digunakan sebagai buku pendamping yang substansinya dapat diintegrasikan dengan konten pembelajaran.

Upaya peningkatan kesadaran kekeringan perlu penyajian konten secara spasial. Melalui pembelajaran spasial, siswa dapat mengidentifikasi keparahan kekeringan secara temporal dan mengkoneksikan sebab akibat dari fenomena geosfer dalam skala global hingga lokal ([Hagenlocher et al., 2019](#)). Namun, guru kesulitan dalam penyajian peta kekeringan secara spasio-temporal karena kerumitan teknis, sehingga menghabiskan biaya dan waktu ([Senamaw et al., 2021](#); [Tallaksen & Stahl, 2014](#)). Padahal, siswa perlu belajar melalui data spasial kekeringan. Maka, perlu sebuah *platform* yang dapat memproses peta kekeringan secara spasio-temporal dengan cepat dan efisien, salah satunya dengan Google Earth Engine (GEE).

GEE merupakan sebuah *platform web cloud computation* yang dapat digunakan untuk menyusun peta kekeringan berdasarkan indikator yang telah ditentukan. *Platform* ini menyediakan big data spasial dengan mengintegrasikan antar katalog citra satelit ([Tamiminia et al., 2020](#); [Zhao et al., 2021](#)). Keunggulan dari GEE adalah kemudahan dalam pemrosesan data spasial secara cepat melalui bahasa pemrograman JavaScript dan Python ([Prasai et al., 2021](#); [Xing et al., 2021](#)). Selain itu, GEE dapat disematkan dalam website ([Amani et al., 2019](#); [Gulácsi & Kovács, 2020](#)), sehingga siswa dapat berinteraksi terhadap peta

kekeringan. Namun, penelitian integrasi GEE dalam pendidikan masih minim dan hanya terbatas pada teori aplikatif dalam berbagai analisis fenomena. Maka, penelitian ini mencoba untuk mengoptimalkan peran GEE dalam pembelajaran geografi, terutama pada topik kekeringan. Potensi GEE dalam memfasilitasi pembelajaran geografi perlu dimanfaatkan sebagai media pembelajaran siswa dan diintegrasikan ke dalam modul ajar digital untuk mempermudah dalam proses identifikasi persebaran, gejala, dan tingkat keparahan kekeringan.

Berdasarkan uraian sebelumnya, maka tujuan penelitian ini untuk mengembangkan sebuah modul ajar digital topik kekeringan berbasis spasial terintegrasi GEE untuk siswa. Integrasi GEE dalam modul ajar sebagai alat untuk visualisasi data kekeringan secara spasio-temporal, sehingga dapat memperjelas data kekeringan yang bersifat rumit. Pengembangan ini sebagai solusi inovatif untuk meningkatkan pengetahuan fenomena kekeringan dan fasilitasi pendamping buku utama yang telah direkomendasikan oleh pemerintah. Pada akhirnya, pengembangan modul ajar digital ini diharapkan dapat meningkatkan pengetahuan siswa terhadap fenomena kekeringan di sekitar mereka.

### Metode

Penelitian ini menggunakan model pengembangan ADDIE mengikuti teori dari Branch ([Branch, 2009](#)). Pemilihan model ini didasarkan pada keunggulan dalam perencanaan framework yang jelas, terstruktur, dan kemudahan dalam pelaksanaannya. Selain itu, model ini juga cocok digunakan dalam pengembangan sebuah modul ajar yang berorientasi pada pemanfaatan teknologi inovatif sekaligus menemukan alur instruksi yang tepat dalam implementasi produk. Selain itu, model ADDIE Branch berorientasi pada kepuasan pengguna dalam memanfaatkan produk, sehingga ketika kepuasan pengguna telah tercapai, maka pengembangan telah mencapai

tahap akhir ([Branch, 2009](#)). Tahapan dalam penelitian ini terbagi menjadi lima fase utama, yaitu *analysis*, *design*, *development*, *implementation*, dan *evaluation* yang dapat dilihat pada tabel 1.

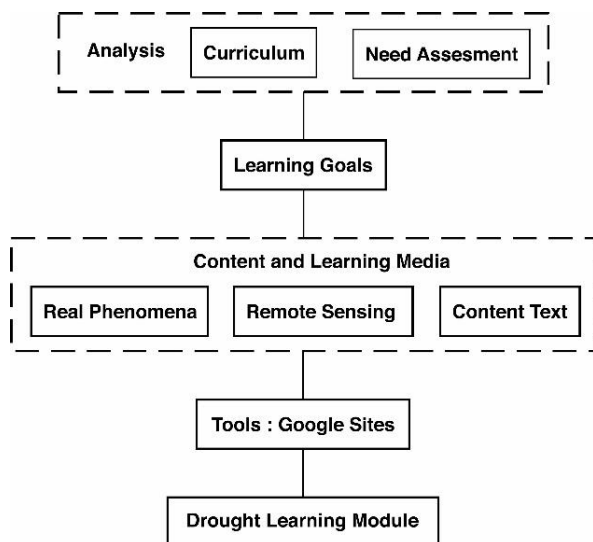
Tabel 1. Fase ADDIE dan Deskripsi Kegiatan

<b>ADDIE Phases</b>	<b>Deskripsi</b>
<i>Analysis</i>	Kajian terhadap kurikulum dalam capaian pembelajaran Geografi SMA, kebijakan pemerintah pada program mitigasi bencana kekeringan, dan diskusi awal dengan guru geografi SMA terhadap kebutuhan belajar siswa.
<i>Design</i>	Perancangan desain pengembangan berdasarkan <i>need assessment</i> , tujuan pembelajaran, alat penulisan modul, dan pemilihan multimedia.
<i>Development</i>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Pelaksanaan pengembangan dengan alat penulisan modul ajar menggunakan Google Sites dan integrasi terhadap GEE sebagai media pembelajaran.</li><li>- Pengembangan desain instruksional pembelajaran, tinjauan tim pengembang dan validasi tim ahli.</li></ul>
<i>Implementation</i>	Penilaian kesesuaian teknis dan spesifikasi, peluncuran percontohan melalui pengujian kegunaan modul ajar kepada guru dan siswa.
<i>Evaluation</i>	Desain evaluasi dan <i>review</i> oleh tim pengembang.

Pada fase *analysis*, peneliti melaksanakan analisis kebutuhan melalui wawancara kepada guru dan siswa terhadap kebutuhan mereka dalam mempelajari kekeringan. Analisis ini dilaksanakan secara acak di sekolah-sekolah di Jawa Timur yang tersedia untuk mendapatkan kebutuhan guru dan

siswa secara luas, sehingga tidak terpaku pada kebutuhan pada satu sekolah saja. Kemudian, studi literatur dilaksanakan dengan menghubungkan antara kurikulum dengan kebutuhan program pemerintah terhadap mitigasi bencana kekeringan. Materi kekeringan minim sekali dijelaskan secara mendalam, bahkan di buku geografi utama oleh kemdikbud. Temuan lain menjelaskan bahwa penggunaan teknologi geospasial pada pembelajaran masih dapat dikembangkan. Guru sebenarnya sudah menguasai pengoperasian teknologi geospasial, namun membutuhkan banyak waktu dan biaya. Temuan lain menyatakan bahwa guru dan siswa telah mengacu pada buku geografi terbaru dari Kemdikbud. Namun, mereka masih memerlukan buku pendamping sebagai pendalaman materi.

Pada fase *design*, peneliti menyusun desain pengembangan modul ajar kekeringan. Tahap ini berfungsi untuk memudahkan peneliti untuk mengembangkan modul ajar sesuai dengan *framework* yang telah dibuat. *Framework* dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 1. *Framework* Pengembangan Modul Ajar Digital Kekeringan

Susunan konten mengacu pada kebutuhan guru dan siswa dalam pelaksanaan pembelajaran. Penyusunan tujuan pembelajaran berdasarkan analisis kebutuhan, yaitu menganalisis kekeringan secara spasio-temporal melalui teknologi geospasial dalam skala global hingga lokal;

Menganalisis dampak kekeringan terhadap pertanian, ekonomi, sosial, dan aspek lainnya; Mengevaluasi penyelesaian permasalahan kekeringan berdasarkan pendekatan geografi; Menyusun berbagai bentuk laporan penugasan berdasar materi yang telah dipelajari. Objek kajian kekeringan diambil di tiga kabupaten yang berbeda, yaitu Tulungagung, Nganjuk, dan Bojonegoro yang didasarkan pada keparahan kekeringan di ketiga wilayah tersebut dan kelengkapan konten berdasarkan kondisi geografisnya.

Pada fase *development*, peneliti telah merealisasikan produk berdasarkan *framework* pengembangan. Pertama, peneliti telah mengumpulkan data berupa data hasil kajian pustaka, data spasial kekeringan melalui google earth engine, dan data lapangan. Data kajian pustaka digunakan sebagai dasar penyusunan konten. Kemudian, integrasi konten berdasarkan data spasial kekeringan melalui GEE berfungsi untuk mengidentifikasi pola keparahan kekeringan secara spasio-temporal dan data lapangan berupa multimedia yang diambil secara *real-time* sebagai *evidence* kekeringan di wilayah kajian.

Realisasi produk menggunakan *platform* google sites berdasarkan kemudahan dan performansinya dalam menyajikan modul ajar digital. Selain itu, mayoritas guru dan siswa telah mengakui bahwa *platform* ini sudah biasa digunakan dalam pembelajaran geografi sehari-hari. Kemudian, modul ajar digital juga melewati proses validasi dari ahli materi dan media untuk mendapatkan penilaian kelayakan, sehingga produk dapat digunakan sebagai modul ajar yang layak digunakan untuk memfasilitasi pembelajaran kekeringan.

Pada fase *implementation*, peneliti mengujicobakan produk yang telah tervalidasi kepada sampel. Sampel dalam penelitian ini terdiri dari tiga sekolah, yaitu MAN 1 Magetan, SMAN 1 Grogol, dan SMAN 1 Singosari. Karakteristik sampel dapat dilihat pada Tabel 5. Pemilihan ketiga sekolah ini menggunakan teknik

*convenience sampling* didasarkan pada kesediaan sekolah untuk berpartisipasi dalam penelitian serta ketersediaan fasilitas yang mendukung penggunaan produk secara maksimal. Teknik *sampling* ini dilakukan karena kemudahan akses serta keterlibatan aktif dari pihak sekolah yang siap mendukung implementasi teknologi tersebut dengan sumber daya yang siap mengadopsi teknologi baru, sehingga tidak dilakukan perhitungan jumlah sampel yang rumit. Penelitian ini lebih mengarah pada kualitas intervensi yang diimplementasikan daripada generalisasi hasil ke populasi yang lebih luas. Namun, sampel yang digunakan dianggap representatif karena ketiga sekolah ini berada di wilayah yang berbeda dan latar belakang siswa yang bervariasi, sehingga diharapkan mampu memberikan gambaran yang komprehensif terkait efektivitas integrasi GEE dalam pembelajaran spasial di SMA.

Uji coba produk dalam penelitian ini menggunakan skema *one group pretest posttest design*. Skema ini berfungsi untuk mengetahui dan mengevaluasi perbedaan hasil belajar siswa sebelum dan sesudah pembelajaran dengan modul ajar. Data dalam penelitian ini dianalisis menggunakan pendekatan analisis deskriptif dan analisis inferensial yang bertujuan untuk menilai tanggapan pengguna dan efektivitas modul ajar. Pada analisis deskriptif, data dari angket validasi ahli serta respon guru dan siswa dianalisis untuk mengukur tingkat penerimaan dan kesesuaian materi. Sedangkan, pada analisis inferensial dilakukan beberapa uji statistik, seperti uji normalitas melalui analisis Shappiro-Wilk, uji homogenitas melalui analisis Levene, uji beda melalui analisis *paired sample test*, dan uji *effect size* melalui analisis Cohen's  $d_z$ . Tahap ini dapat dikatakan sebagai penilaian sumatif untuk menilai keseluruhan produk, sehingga penelitian dapat dihentikan ketika guru dan siswa sebagai pengguna merasa puas terhadap kualitas produk.

Pada tahap evaluasi, peneliti mengevaluasi keseluruhan proses penyusunan produk. Tahap ini menghasilkan analisis kebermanfaatan produk terhadap pembelajaran geografi di SMA,

khususnya pada materi kekeringan. Evaluasi pada setiap tahapan dan sistem pengembangan sebagai acuan dalam menentukan saran dalam penelitian selanjutnya, sehingga keberlanjutan penelitian dapat dilaksanakan oleh peneliti lain untuk mengembangkan penelitian serupa.

### Hasil dan pembahasan

Hasil akhir dari pengembangan ini adalah sebuah modul ajar digital tentang topik kekeringan yang disajikan melalui *platform* Google Sites. Modul ini dirancang untuk mendukung pembelajaran spasial geografi, khususnya dalam memahami fenomena kekeringan dengan memanfaatkan platform GEE. Lebih dari itu, modul ajar ini memiliki struktur yang sistematis dan interaktif yang terdiri dari beberapa bagian utama.

Bagian pertama adalah pembuka, yang berisi pengantar topik serta tujuan pembelajaran. Selanjutnya terdapat rekomendasi pembelajaran, yang memberikan panduan langkah-langkah pembelajaran yang efektif bagi guru dan siswa. Bagian inti dari modul ini adalah materi pembelajaran, yang memuat penjelasan mendalam terhadap konsep kekeringan, diperkaya dengan data serta visualisasi spasial melalui GEE. Selain itu, tersedia juga lembar kerja peserta didik, yang dirancang untuk melatih siswa menerapkan pengetahuan yang telah mereka pelajari melalui serangkaian aktivitas dan soal berbasis pemecahan masalah. Bentuk produk dapat dilihat pada gambar 2.



Gambar 2. Bentuk Produk Modul Ajar Digital Kekeringan dalam Tablet dan *Smartphone*

Konten dalam modul ini menekankan pada penyajian fenomena kekeringan dengan pendekatan yang logis dan berbasis data. Susunan konten dapat dilihat pada Tabel 2. Modul ini secara khusus menghadirkan contoh-contoh aktual kekeringan di wilayah-wilayah yang terdampak, seperti Bojonegoro, Nganjuk, dan Tulungagung, sehingga siswa dapat memahami fenomena kekeringan dalam konteks nyata. Salah

satu kekuatan utama dari modul ini adalah integrasi antara data penginderaan jauh yang diperoleh melalui GEE dengan kondisi aktual di lapangan, sehingga memfasilitasi siswa untuk menganalisis dan membandingkan perubahan kondisi spasial secara langsung.

Pertama, konten identifikasi kekeringan mengenalkan kepada siswa terhadap perbedaan antara lingkungan dengan kondisi normal dan

Tabel 2. Susunan Konten Pada Modul Ajar Digital

Konten Utama	Sub-Konten	Deskripsi
Identifikasi Kekeringan	Kondisi Nyata	Menunjukkan beberapa kondisi normal dan kering yang terlihat di permukaan bumi. Objek kajian berada di Kabupaten Tulungagung, Kabupaten Nganjuk, dan Kabupaten Bojonegoro
	Penginderaan Jauh	Menjelaskan sistem penginderaan jauh dalam mengidentifikasi kekeringan melalui beberapa indikator seperti kerapatan hijau (NDVI), kebasahan lahan (NDWI), suhu permukaan tanah (LST), dan curah hujan ( <i>Precipitation</i> ).
	Klasifikasi Kekeringan	Menjelaskan dan menunjukkan contoh kondisi keparahan kekeringan yang terklasifikasi menjadi enam tingkatan, yaitu "Tidak Ada Kekeringan", "Kekeringan Rendah", "Kekeringan Sedang", "Kekeringan Parah", "Kekeringan Ekstrim", dan "Kekeringan Luar Biasa".
	Atlas Risiko Air	Mengeksplorasi <i>Water Risk Atlas</i> untuk mengetahui persebaran kekeringan secara umum dalam skala global dan memprediksi risiko kekeringan dalam 30 tahun ke depan.
Penyebab Kekeringan	Muson ( <i>Nature</i> )	Menganalisis pengaruh dinamika muson barat dan timur terhadap keparahan kekeringan di Indonesia dan menghubungkannya dengan teori pergerakan angin.
	ENSO ( <i>Nature</i> )	Menganalisis pengaruh dinamika muson barat dan timur terhadap keparahan kekeringan di Indonesia dalam skala nasional hingga lokal.
	Kondisi Geografis ( <i>Nature</i> )	Mengidentifikasi keparahan kekeringan di tiga bentuklahan yang berbeda antara vulkanik, fluvial, dan karst.
	Manusia	Menjelaskan bagaimana aktivitas manusia mempengaruhi ketersediaan air di permukaan bumi.
Dampak Kekeringan	Dampak Secara Langsung	Mendeskripsikan dampak kekeringan pada kehidupan sehari-hari.
	Dampak Berjenjang ( <i>Cascading Effects</i> )	Menganalisis dampak lanjut dari kekeringan secara spasial dan temporal.



mengalami kekeringan melalui perbedaan dua foto kondisi wilayah. Kondisi ini dilihat dari ketersediaan air (Salimi et al., 2021), warna tanaman yang mengindikasikan kesehatan vegetasi (Almeida-Nauñay et al., 2022), dan respon fisiologi tanaman terhadap kekeringan seperti perbedaan bentuk akar tanaman padi antara kondisi normal dan kekeringan (Tekle & Alemu, 2016). Contoh konten ini dapat dilihat pada gambar 3.



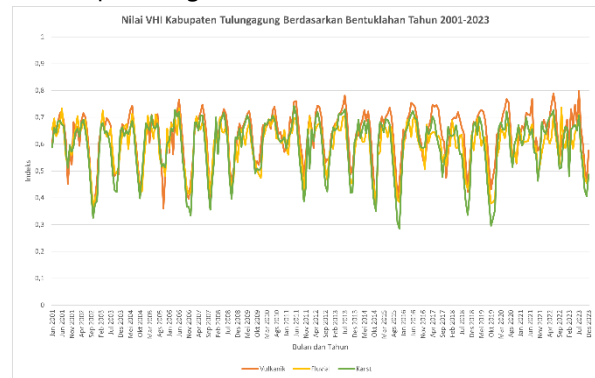
Gambar 3. Perbedaan Wilayah dengan Kondisi Normal dan Kekeringan

Selanjutnya, pengenalan terhadap sistem penginderaan jauh dalam mengidentifikasi kekeringan. Pada modul ajar ini, produk katalog Landsat-8, Terra Modis, dan *Climate Hazards Center InfraRed Precipitation With Station Data* (CHIRPS) digunakan sebagai percontohan dalam mengidentifikasi kekeringan yang diproses melalui GEE. Fungsi masing-masing produk dalam mengidentifikasi kekeringan dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Produk Katalog

Produk	Indikator Kekeringan
Landsat-8	Kerapatan Hijau Kebasahan Lahan
Terra Modis	Suhu Permukaan Lahan
CHIRPS	Presipitasi

Kedua, konten penyebab kekeringan berfokus pada dinamika kekeringan di Jawa Timur. Pada konten ini disajikan pengaruh fenomena muson dan ENSO terhadap pola kekeringan dengan menjelaskan sistem pergerakan angin yang dipengaruhi oleh perbedaan tekanan udara. Perbedaan karakteristik geografis juga dilibatkan, seperti perbedaan intensitas kekeringan di wilayah vulkanik, fluvial, dan karst seperti pada gambar 4. Selain itu, pengaruh aktivitas manusia terhadap keparahan kekeringan dijelaskan dalam skala sempit, seperti kegiatan pertanian lokal, dan skala luas, seperti kegiatan industri.

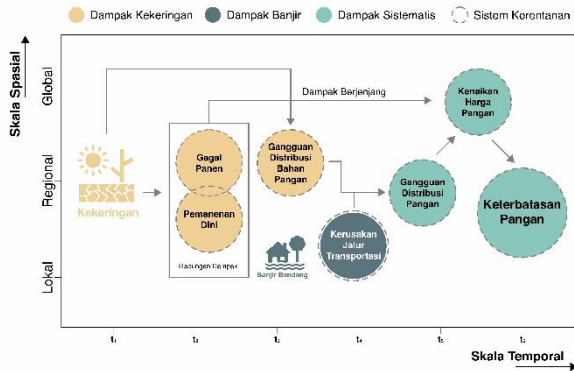


Gambar 4. Grafik Perbedaan Keparahannya Kekeringan Berdasarkan Analisis *Vegetation Health Index* (VHI) Antara Wilayah Vulkanik, Fluvial, dan Karst di Tulungagung

Ketiga, konten dampak kekeringan memaparkan dampak kekeringan melalui dua aspek utama, yaitu dampak langsung dan dampak berjenjang (*cascading effects*). mempelajari bagaimana kekurangan air di tingkat lokal, seperti berkurangnya ketersediaan air untuk pertanian, gagal panen, dan degradasi lahan. Dari sini, siswa akan memahami bahwa dampak lokal ini dapat meluas menjadi masalah di tingkat nasional, seperti kenaikan harga pangan akibat kelangkaan produksi. Pada bagian ini, modul ajar mengajak



siswa untuk melihat lebih jauh bagaimana dampak tersebut dapat menyebabkan ketidakstabilan ekonomi, kelaparan, dan bahkan konflik sosial. Maka, siswa mampu melihat bahwa dampak kekeringan tidak hanya terjadi secara terpisah, melainkan saling terkait satu sama lain dan dapat berkembang menjadi masalah yang lebih besar melalui mekanisme *cascading effects*. Mekanisme ini dapat dilihat pada gambar 5.



Gambar 5. Mekanisme *Cascading Effects* Kekeringan

Hasil validasi ahli dan respon antara guru dan siswa menunjukkan bahwa modul ajar digital kekeringan terintegrasi GEE memperoleh penilaian yang sangat baik dari para validator ahli, guru, dan siswa. Secara keseluruhan, rata-rata skor dari berbagai indikator penilaian menunjukkan tingkat kepuasan yang tinggi terhadap aspek materi, media, serta implementasi modul di dalam kelas. Selengkapnya dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Skor Penilaian Ahli Materi, Ahli Media, Guru, dan Siswa

Penilai	Indikator	Skor (%)	Rata-Rata Skor (%)
Ahli Materi	Cakupan Materi	96	97
	Akurasi Materi	100	
	Kemutakhiran dan Kontekstual	90	
	Cakupan Keterampilan	100	

Ahli Media	dan Kelayakan Bahasa		
	Teknik Penyajian Pendukung	100	
	Penyajian Materi	87	
	Kesesuaian dengan Karakteristik Modul	96	95,75
	Isi dan Bahasa	100	
Guru	Kemenarikan	87,5	
	Isi Konten	89,58	
	Persepsi Kegunaan	89,17	
	Kemudahan	90	90
	Kecenderungan dalam Penggunaan	93,75	
Siswa	Kemudahan Penggunaan	81,28	81,99
	Desain Isi	83,63	
	Kemanfaatan	81,05	

Ahli materi memberikan penilaian rata-rata 97%. Skor ini menyatakan bahwa konten dalam modul ajar telah sesuai dan layak digunakan. Namun, ada saran dalam penyusunan alat evaluasi. Informasi dalam soal masih dianggap terlalu luas, sehingga siswa diperkirakan mengalami kesulitan dalam pengerjaan. Misalkan, penyajian grafik indeks ENSO dalam rentang 30 tahun terakhir (1995-2024) untuk mengidentifikasi kemungkinan kekeringan di Indonesia. Skala temporal data perlu diperpendek dan langsung memperlihatkan perbedaan indeks ENSO di dua tahun berbeda, misal 2022 dan 2023 untuk memperjelas data, maksud pertanyaan, dan kemudahan dalam menganalisis.

Berdasarkan ahli media, modul ini memperoleh penilaian rata-rata 95,75%. Skor ini menyatakan bahwa integrasi media dalam modul ajar telah sesuai dan layak digunakan. Namun, pendukung materi berupa media, seperti animasi Muson dan ENSO, perlu diperbanyak guna

memberikan ilustrasi yang lebih jelas mengenai konsep spasial yang kompleks.

Guru sebagai praktisi juga memberikan penilaian yang positif dengan rata-rata skor 90%. Skor ini mencerminkan bahwa modul ini memiliki kelayakan sangat tinggi, menarik, dan bermanfaat. Namun, guru menyarankan agar diberikan instruksi yang lebih rinci terkait penggunaan peta, terutama dalam analisis spasial menggunakan peta interaktif. Hal ini berfungsi mempermudah guru dalam implementasi modul ajar di kelas.

Penilaian dari siswa menunjukkan skor rata-rata 81,99%. Skor ini mencerminkan modul memiliki kelayakan tinggi dan dapat digunakan siswa dalam belajar di kelas maupun secara mandiri. Namun, siswa merasa waktu yang disediakan untuk mempelajari dan mengoperasikan modul di kelas masih kurang, karena teknologi yang ada dalam modul ajar masih tergolong baru bagi mereka. Oleh karena itu, disarankan agar waktu pelaksanaan pembelajaran diperpanjang atau diberikan sesi tambahan agar siswa dapat beradaptasi lebih baik dengan teknologi tersebut.

Pada akhirnya, keseluruhan saran dari ahli, praktisi, dan siswa telah dievaluasi dan diterapkan ke dalam modul ajar untuk mencapai kevalidan dan kelayakan yang maksimal. Selanjutnya, implementasi telah dilaksanakan untuk membandingkan antara hasil *pretest* dan *posttest*. Pertama, analisis deskriptif dilaksanakan untuk mengetahui variasi skor siswa antara *pretest* dan *posttest* yang dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Analisis Deskriptif Hasil Belajar Siswa

Skema	N	Range	Min.	Max.	Mean	Std. Dev.
<i>Pretest</i>	48	7	0	7	3.31	1.980
<i>Posttest</i>	48	7	3	10	5.96	1.786

Hasil analisis deskriptif terhadap hasil belajar siswa menunjukkan adanya peningkatan skor dari *pretest* ke *posttest* setelah penggunaan modul ajar berbantuan GEE. Pada *pretest*, skor rata-rata yang diperoleh siswa adalah 3,31 dengan

standar deviasi 1,980 dan sebaran data skor minimal 0 dan maksimal 7. Setelah penerapan modul, skor rata-rata siswa pada *posttest* meningkat menjadi 5,96, dengan standar deviasi 1,786 dan sebaran data skor minimal 3 dan maksimal 10. Selanjutnya, untuk mengetahui sejauh mana peningkatan hasil belajar dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Skor N-Gain Hasil Belajar Siswa

Indikator	N-Gain
Identifikasi Kekeringan	0,474
Analisis Dampak Kekeringan	0,377
Pemecahan Permasalahan Kekeringan	0,234
Rata-Rata	0,362

Berdasarkan hasil analisis N-Gain pada Tabel 10, modul ajar digital menunjukkan peningkatan yang bervariasi pada kemampuan siswa dalam memahami topik kekeringan. Skor N-Gain rata-rata keseluruhan sebesar 0,362 mengindikasikan bahwa secara umum peningkatan hasil belajar siswa berada pada kategori sedang (Hake, 1999). Pada indikator identifikasi kekeringan, skor N-Gain yang diperoleh adalah 0,474 sebagai skor tertinggi di antara semua indikator. Pada indikator analisis dampak kekeringan, skor N-Gain lebih rendah, yaitu 0,377 yang masih berada pada kategori sedang. Kedua skor ini menunjukkan bahwa modul ajar digital cukup efektif dalam meningkatkan pemahaman siswa terhadap proses identifikasi kekeringan dan dampaknya terhadap kehidupan sehari-hari. Namun, pada indikator pemecahan permasalahan kekeringan memiliki skor N-Gain terendah, yakni 0,234 yang berada pada kategori rendah. Skor ini menunjukkan bahwa siswa masih menghadapi kesulitan dalam mengembangkan solusi terhadap permasalahan kekeringan yang dihadapi. Hal ini mengindikasikan perlunya penyesuaian lebih lanjut pada materi dan aktivitas pembelajaran yang berfokus pada pengembangan keterampilan pemecahan masalah dalam modul tersebut.

Selanjutnya analisis pengaruh modul ajar digital terhadap hasil belajar kekeringan. Proses analisis inferensial meliputi uji normalitas data pada Tabel 7, uji homogenitas pada Tabel 8, uji-t melalui *paired sample test* pada Tabel 9, dan *effect size* melalui analisis Cohen's  $d_z$  pada Tabel 10.

Tabel 7. Uji Normalitas Data

Analisis	Skema	Sig.
Normalitas	<i>Pretest</i>	sig. 0,063
	<i>Posttest</i>	sig. 0,061

Tabel 8. Uji Homogenitas Data

Analisis	<i>Levene Stat.</i>	Sig.
Homogenitas	0,893	0,347

Tabel 9. Uji-t *Paired Sample Test*

Analisis	t	df	Sig. (2-tailed)
<i>Paired Sample Test</i>	-10,510	47	0,00

Tabel 10. Uji *Effect Size*

Analisis	Mean <sub>Diff</sub>	S. Dev <sub>Diff</sub>	Skor
Cohen's $d_z$	2,646	1,744	1,517

Berdasarkan hasil analisis statistik inferensial, modul ajar kekeringan terbukti berpengaruh dalam meningkatkan hasil belajar siswa pada topik kekeringan. Hasil uji normalitas pada tabel 6 menunjukkan bahwa data pretest dan posttest berdistribusi normal dengan skor signifikansi masing-masing 0,063 dan 0,061, yang berada di atas ambang batas 0,05. Hal ini menunjukkan asumsi normalitas terpenuhi. Selain itu, hasil uji homogenitas yang dapat dilihat pada tabel 7, memiliki skor signifikansi 0,347 yang mengindikasikan bahwa data memiliki variansi yang homogen, sehingga dapat dilanjutkan analisis uji-t *paired sample test*.

Selanjutnya, hasil *paired sample test* pada tabel 8 menunjukkan adanya perbedaan yang signifikan antara skor pretes dan postes dengan skor  $t = -10,510$ ,  $df = 47$ , dan  $sig. (2-tailed) = 0,000$ . Skor signifikansi yang lebih kecil dari 0,05 menunjukkan bahwa modul ajar memiliki pengaruh signifikan terhadap peningkatan hasil

belajar siswa. Efektivitas modul ajar juga diperkuat dengan analisis Cohen's  $d_z$  pada tabel 9 yang memiliki skor 1,517 menunjukkan besar efek yang sangat kuat. Skor ini mengindikasikan bahwa intervensi modul ajar berbantuan GEE memberikan dampak yang besar dalam meningkatkan pemahaman siswa terhadap topik kekeringan.

Modul ajar digital kekeringan berbasis memudahkan guru dalam menyajikan fenomena kekeringan secara logis kepada siswa. Modul ini menguraikan secara saintifik bagaimana siklus kekeringan terjadi dan pengaruhnya terhadap kehidupan sehari-hari. Melalui data spasial secara numerik dan visual, guru dapat menguraikan secara mendalam penyebab kekeringan terjadi di sekitar mereka dan faktor yang mempengaruhinya. Lebih dari itu, guru dapat menjelaskan fenomena kekeringan tidak hanya melalui narasi verbal, tetapi juga dengan memanfaatkan teknologi penginderaan jauh yang menjadikan fenomena kekeringan lebih mudah dipahami secara kontekstual dan logis bagi siswa (Houser et al., 2017; Xiang & Xi, 2024).

Modul ini mengajak siswa untuk mengembangkan pemahaman mereka sendiri terkait kekeringan berdasarkan pengetahuan awal yang mereka miliki. Melalui berbagai contoh nyata kekeringan dan visualisasi data spasial yang disajikan, siswa didorong untuk berpikir aktif, menganalisis data, serta menghubungkan antara fenomena kekeringan yang terjadi di wilayah tertentu dengan penyebab dan dampaknya. Pendekatan ini mengarahkan siswa untuk membangun konsep sendiri mengenai kekeringan dan memecahkan masalah terkait melalui interaksi langsung dengan data yang disediakan oleh penginderaan jauh (Hodam et al., 2022; Pérez-delHoyo et al., 2020). Hal ini mendukung pendekatan belajar konstruktivis yang menyatakan bahwa siswa tidak sekedar menghafal informasi, tetapi juga mengkonstruksi pemahaman mereka secara aktif (Saleem et al., 2021; Zajda & Zajda, 2021).

Modul ajar ini juga sesuai dengan fungsi utama pembelajaran geografi, yaitu membawa fenomena dunia nyata ke dalam kelas melalui materi pembelajaran ([Bednarz et al., 2013](#); [N. Hamid, Roehrig, et al., 2021](#); [Varma & Vedanayagam, 2007](#)). Dengan bantuan GEE, fenomena kekeringan yang abstrak dapat dijelaskan secara nyata dan berbasis data. Misalnya, siswa dapat melihat perubahan kondisi lahan, suhu, dan kelembaban tanah dari waktu ke waktu melalui peta interaktif. Hal ini memfasilitasi mereka untuk mengaitkan antar fenomena terhadap kekeringan dalam skala lokal hingga global. Maka, pemahaman terhadap fenomena kekeringan secara otomatis meningkatkan kapasitas siswa untuk menyadari pentingnya mitigasi bencana kekeringan ([Cid et al., 2024](#); [Inpin et al., 2023](#)). Dengan kata lain, modul ini efektif dalam menjembatani antara pemahaman fenomena kekeringan dengan pembelajaran geografi di kelas.

Penelitian ini memiliki beberapa limitasi yang perlu diperhatikan untuk penelitian selanjutnya. Salah satu keterbatasan adalah modul ajar ini memerlukan waktu adaptasi yang lebih lama bagi siswa karena pembelajaran dengan data spasial masih baru bagi mereka. Hal ini terlihat pada saat proses pembelajaran, siswa masih belum terbiasa dengan pembelajaran berbasis data spasial melalui grafik dan peta. Maka, siswa memerlukan adaptasi dan pembiasaan terhadap pembelajaran tersebut. Selain itu, siswa melaporkan bahwa waktu pembelajaran yang disediakan kurang memadai untuk mempelajari teknologi ini secara maksimal. Oleh karena itu, penelitian selanjutnya perlu mempertimbangkan pemberian waktu tambahan atau pelatihan pendahuluan berupa pemahaman dasar peta untuk siswa agar beradaptasi dengan data-data spasial.

Modul ajar ini telah diujicobakan kepada guru dan siswa dengan perlakuan yang sama di berbagai sekolah, sehingga menghasilkan penilaian positif terhadap efektivitasnya dalam meningkatkan pemahaman siswa terkait

fenomena kekeringan. Namun, penelitian ini memiliki limitasi pada cakupan ujicoba, di mana pengujian modul hanya dilakukan pada sejumlah sekolah terbatas tanpa mempertimbangkan variasi sekolah, seperti perbedaan akses terhadap teknologi, kemampuan awal siswa, dan perbedaan kondisi geografis. Selain itu, ujicoba ini hanya berfokus pada pemahaman konsep kekeringan, sementara potensi modul untuk meningkatkan keterampilan lain, seperti pemecahan masalah, berpikir kreatif, dan berpikir spasial, belum sepenuhnya dieksplorasi.

Penyempurnaan pengembangan modul ajar ini di masa depan sangat penting untuk memfasilitasi pemahaman siswa terhadap fenomena kekeringan. Maka, penelitian selanjutnya dapat mengujicobakan produk dalam skala yang lebih luas yang melibatkan lebih banyak sekolah dengan variasi lingkungan belajar berbeda. Hal ini penting untuk melihat bagaimana modul ajar ini dapat berfungsi dalam berbagai konteks pendidikan dan bagaimana variasi lingkungan belajar memengaruhi hasil pembelajaran. Selain itu, perlu uji coba pengaruh modul terhadap kompetensi esensial geografi lainnya, seperti kemampuan berpikir spasial, pemecahan masalah, dan berpikir kritis (Cross & Congreve, 2021; Hickman, 2023; Ridha & Kamil, 2021). Hal ini dapat memberikan gambaran yang lebih komprehensif mengenai efektivitas modul dalam pengembangan keterampilan siswa. Di samping itu, perlu dilakukan kajian lebih lanjut untuk menemukan strategi pembelajaran yang sesuai, yang dapat mendukung implementasi modul ini secara optimal, baik melalui pendekatan berbasis proyek, diskusi kelompok, atau penggunaan media interaktif yang lebih mendalam untuk memperkaya pengalaman belajar siswa.

### **Simpulan**

Penelitian ini berhasil mengembangkan modul ajar digital berbasis GEE yang efektif dalam meningkatkan pemahaman siswa terkait fenomena kekeringan. Modul ini memanfaatkan

data spasial dan visualisasi yang interaktif untuk memberikan gambaran lebih nyata tentang proses dan dampak kekeringan. Berdasarkan hasil evaluasi, modul ajar ini dinilai sangat baik oleh ahli materi, media, guru, dan siswa, dan mampu meningkatkan hasil belajar siswa, terutama dalam aspek identifikasi kekeringan. Namun, penelitian ini juga mengidentifikasi kebutuhan siswa akan waktu adaptasi yang lebih lama dalam memanfaatkan teknologi baru. Untuk pengembangan lebih lanjut, disarankan agar modul ini diuji coba dalam skala yang lebih luas dan disertai dengan strategi pembelajaran yang mendukung pengembangan keterampilan berpikir kritis dan pemecahan masalah.

### Ucapan terima kasih

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Kemenristekdikti yang telah membantu pendanaan penelitian ini melalui hibah Direktorat Riset, Teknologi, dan Pengabdian kepada Masyarakat (DRTPM) dalam skema Penelitian Tesis dengan nomor kontrak 066/E5/PG.02.00.PL/2024

### Referensi

- Almeida-Ñauñay, A. F., Villeta, M., Quemada, M., & Tarquis, A. M. (2022). Assessment of drought indexes on different time scales: A case in semiarid mediterranean grasslands. *Remote Sensing*, *14*(3), 565.
- Amani, M., Mahdavi, S., Afshar, M., Brisco, B., Huang, W., Mohammad Javad Mirzadeh, S., White, L., Banks, S., Montgomery, J., & Hopkinson, C. (2019). Canadian wetland inventory using Google Earth Engine: The first map and preliminary results. *Remote Sensing*, *11*(7), 842.
- Amri, A., Lassa, J. A., Tebe, Y., Hanifa, N. R., Kumar, J., & Sagala, S. (2022). Pathways to Disaster Risk Reduction Education integration in schools: Insights from SPAB evaluation in Indonesia. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, *73*, 102860.
- Ashari, A., & Sutrisnowati, S. A. (2021). Developing Sustainable Schools in the Shadow of Active Stratovolcano: A Study at Disaster-Prone Areas of Merapi Volcano. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, *884*(1), 12008.
- Azadi, H., Keramati, P., Taheri, F., Rafiaani, P., & ... (2018). Agricultural land conversion: Reviewing drought impacts and coping strategies. *International Journal of ...* <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212420918305685>
- Bachri, S., Hakiki, A. R. R., Wibowo, N. A., Amini, R., & Nursaribilah, E. (2024). Developing an education support system for disaster management through an ethnoscience-based digital disaster learning module. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, *100*, 104214.
- Bednarz, S., Heffron, S., & Huynh, N. (2013). A road map for 21st century geography education. *Washington, DC: Association of American Geographers*.
- Bogale, G. A., & Erena, Z. B. (2022). Drought vulnerability and impacts of climate change on livestock production and productivity in different agro-Ecological zones of Ethiopia. *Journal of Applied Animal Research*. <https://doi.org/10.1080/09712119.2022.2103563>
- Branch, R. M. (2009). *Instructional design: The ADDIE approach* (Vol. 722). Springer.
- Brunner, M. I., Slater, L., Tallaksen, L. M., & ... (2021). Challenges in modeling and predicting floods and droughts: A review. *Wiley Interdisciplinary ...* <https://doi.org/10.1002/wat2.1520>
- Cid, D. A. C., de Souza Filho, F. de A., da Silva Alves, R., de Araújo Pontes Filho, J. D., da Silva, D. C., & Martins, E. S. P. R. (2024). Drought in play: A grounded socio-hydrological tool to increase social participation in drought plans. *Journal of Hydrology*, *638*, 131445.
- Coman, C., Țîru, L. G., Meseșan-Schmitz, L., Stanciu, C., & ... (2020). Online teaching and learning in higher education during the coronavirus pandemic: Students' perspective. In *Sustainability*. <https://www.mdpi.com/2071-1050/12/24/10367>
- Cross, I. D., & Congreve, A. (2021). Teaching (super) wicked problems: authentic learning about climate change. *Journal of Geography in Higher Education*, *45*(4), 491–516.
- Dikshit, A., Pradhan, B., Huete, A., & Park, H. J. (2022). Spatial based drought assessment: Where are we heading? A review on the

- current status and future. *Science of The Total Environment*.  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969722043376>
- Farsani, N. T., de Carvalho, C. N., & Eslamian, S. (2017). Education Program for Drought. In *Handbook of drought and water scarcity* (pp. 553–567). CRC Press.
- Firmansyah, A. J., Nurjani, E., & Sekaranom, A. B. (2022). Effects of the El Niño-Southern Oscillation (ENSO) on rainfall anomalies in Central Java, Indonesia. *Arabian Journal of Geosciences*, *15*(24), 1746.
- Gulácsi, A., & Kovács, F. (2020). Sentinel-1-imagery-based high-resolution water cover detection on wetlands, Aided by Google Earth Engine. In *Remote Sensing*. mdpi.com.  
<https://www.mdpi.com/2072-4292/12/10/1614>
- Hagenlocher, M., Meza, I., Anderson, C. C., Min, A., Renaud, F. G., Walz, Y., Siebert, S., & Sebesvari, Z. (2019). Drought vulnerability and risk assessments: state of the art, persistent gaps, and research agenda. *Environmental Research Letters*, *14*(8), 83002.
- Haile, G. G., Tang, Q., Li, W., Liu, X., & ... (2020). Drought: Progress in broadening its understanding. *Wiley Interdisciplinary ...*  
<https://doi.org/10.1002/wat2.1407>
- Hake, R. R. (1999). Analyzing Change/Gain Scores. *America Educational Research Association's Division, Measurement and Research Methodology*.
- Hamid, N., Roehrig, G., Liesnoor, D., Rachmah, H., Royyani, M. A., & Hanifah, M. (2021). Development Model for Environment-Based Learning to Improve Junior High School Students' Geographical Skills. *Review of International Geographical Education Online*, *11*(2), 461–481.
- Hamid, N., Trihatmoko, E., Herlina, M., & Aroyandini, E. N. (2021). Developing a model for disaster education to improve students' disaster mitigation literacy. *Journal of Disaster Research*, *16*(8), 1243–1256.
- Hamid, S., Lee, T. T., & Taha, H. (2021). E-content module for Chemistry Massive Open Online Course (MOOC): Development and students' perceptions. *... Science Education*.  
<https://upcommons.upc.edu/handle/2117/345559>
- Han, L., Zhang, Q., Zhang, Z., Jia, J., Wang, Y., & ... (2021). Drought area, intensity and frequency changes in China under climate warming, 1961–2014. *Journal of Arid ...*  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0140196321001622>
- Hao, Z., Singh, V. P., & Xia, Y. (2018). Seasonal drought prediction: Advances, challenges, and future prospects. *Reviews of Geophysics*.  
<https://doi.org/10.1002/2016RG000549>
- Hickman, J. (2023). Spatial thinking and GIS: developing and assessing student competencies. *International Research in Geographical and Environmental Education*, *32*(2), 140–158.
- Hodam, H., Rienow, A., & Juergens, C. (2022). Developing and evaluating simplified tools for image processing in a problem-based learning environment for Earth observation. *PFG-Journal of Photogrammetry, Remote Sensing and Geoinformation Science*, *90*(5), 439–456.
- Houser, C., Bishop, M. P., & Lemmons, K. (2017). Teaching complex concepts in the geosciences by integrating analytical reasoning with GIS. *Journal of Geoscience Education*, *65*(3), 263–271.
- Inpin, W., Juwitasari, R., Dania, M., Miyake, Y., Maki, T., & Takeuchi, Y. (2023). Actor-Network in Disaster Education: Mainstreaming the Role of Higher Education in Climate Resilience for Sustainable Development in Northern Thai School. *Journal of Social Studies Education Research*, *14*(3), 328–356.
- Kaczorowski, T. L., Hashey, A. I., & ... (2019). An exploration of multimedia supports for diverse learners during core math instruction. *... of Special Education ...*  
<https://doi.org/10.1177/0162643418781298>
- Kamil, P. A., Utaya, S., Sumarmi, & Utomo, D. H. (2020). Improving disaster knowledge within high school students through geographic literacy. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, *43*, 101411.  
<https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2019.101411>
- Khatri, P., Kumar, P., Shakya, K. S., Kirlas, M. C., & ... (2024). Understanding the intertwined nature of rising multiple risks in modern agriculture and food system. *Environment ...*  
<https://doi.org/10.1007/s10668-023-03638-7>
- Kim, J. B., Kim, S. H., & Bae, D. H. (2023). The



- impacts of global warming on arid climate and drought features. *Theoretical and Applied Climatology*.  
<https://doi.org/10.1007/s00704-022-04348-2>
- Kusyanti, R. (2021). Development of interactive digital module based on virtual laboratories in the covid-19 pandemic era in dynamic fluid materials. *International Journal of Active Learning*.  
<https://www.learntechlib.org/p/219439/>
- Legg, S. (2023). Using the bureau of meteorology website to study weather and climate extremes. *Interaction*.  
<https://doi.org/10.3316/informit.449919003217939>
- Li, J., Xia, H., Qin, Y., Fu, P., Guo, X., Li, R., & Zhao, X. (2022). Web GIS for sustainable education: Towards natural disaster education for high school students. In *Sustainability*. mdpi.com.  
<https://www.mdpi.com/2071-1050/14/5/2694>
- Maybank, J., Bonsai, B., Jones, K., Lawford, R., & ... (1995). Drought as a natural disaster. *Atmosphere* ....  
<https://doi.org/10.1080/07055900.1995.9649532>
- McIntyre, T., Wegener, M., & McGrath, D. (2018). Dynamic e-learning modules for student lecture preparation. *Teaching and Learning* ....  
<http://cjc-rccl.ualgary.ca/index.php/TLI/article/view/57353>
- Narayan, M., Singh, N., Solanki, P., & ... (2024). Impact of Extreme Events on Global Food Security. *Food Security in a* ....  
[https://doi.org/10.1007/978-3-031-57283-8\\_9](https://doi.org/10.1007/978-3-031-57283-8_9)
- Pérez-delHoyo, R., Mora, H., Martí-Ciriquián, P., Pertegal-Felices, M. L., & Mollá-Sirvent, R. (2020). Introducing innovative technologies in higher education: An experience in using geographic information systems for the teaching-learning process. *Computer Applications in Engineering Education*, 28(5), 1110–1127.
- Pokhrel, Y., Felfelani, F., Satoh, Y., Boulange, J., Burek, P., Gädeke, A., Gerten, D., Gosling, S. N., Grillakis, M., Gudmundsson, L., & Hanasaki, N. (2021). Global terrestrial water storage and drought severity under climate change. ... *Climate Change*.  
<https://www.nature.com/articles/s41558-020-00972-w>
- Prasai, R., Schwertner, T. W., Mainali, K., Mathewson, H., Kafley, H., Thapa, S., Adhikari, D., Medley, P., & Drake, J. (2021). Application of Google earth engine python API and NAIP imagery for land use and land cover classification: A case study in Florida, USA. *Ecological Informatics*, 66, 101474.
- Pyhälä, A., Fernández-Llamazares, Á., & ... (2016). Global environmental change: local perceptions, understandings, and explanations. In *Ecology and society* ....  
 ncbi.nlm.nih.gov.  
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5040507/>
- Rajeshwari, M. (2021). An Analysis into the Contribution of Google Applications in the Successful Implementation of Online Education During the COVID-19 Pandemic. *International Journal of Applied Engineering* ....  
<https://supublication.com/index.php/ijaeml/article/view/425>
- Ridha, S., & Kamil, P. A. (2021). The problems of teaching geospatial technology in developing countries: Concepts, curriculum, and implementation in Indonesia. *Journal of Geography*, 120(2), 72–82.
- Sakurai, M., & Shaw, R. (2022). The potential of digitally enabled disaster education for sustainable development goals. In *Sustainability*. mdpi.com.  
<https://www.mdpi.com/2071-1050/14/11/6568>
- Saleem, A., Kausar, H., & Deeba, F. (2021). Social constructivism: A new paradigm in teaching and learning environment. *Perennial Journal of History*, 2(2), 403–421.
- Salimi, H., Asadi, E., & Darbandi, S. (2021). Meteorological and hydrological drought monitoring using several drought indices. *Applied Water Science*, 11, 1–10.
- Senamaw, A., Addisu, S., & Suryabhagavan, K. V. (2021). Mapping the spatial and temporal variation of agricultural and meteorological drought using geospatial techniques, Ethiopia. *Environmental Systems Research*, 10, 1–17.
- Slayi, M., Zhou, L., Dzvene, A. R., & Mpanyaro, Z. (2024). Drivers and Consequences of Land Degradation on Livestock Productivity in

- Sub-Saharan Africa: A Systematic Literature Review. In *Land*. mdpi.com. <https://www.mdpi.com/2073-445X/13/9/1402>
- Sobel, R. S., & Leeson, P. T. (2010). The use of knowledge in natural disaster relief management. ... of *Hurricane Katrina and Community* .... <https://www.elgaronline.com/downloadpdf/edcoll/9781848442382/9781848442382.00010.pdf>
- Tallaksen, L. M., & Stahl, K. (2014). Spatial and temporal patterns of large-scale droughts in Europe: Model dispersion and performance. *Geophysical Research Letters*, *41*(2), 429–434.
- Tamiminia, H., Salehi, B., Mahdianpari, M., Quackenbush, L., Adeli, S., & Brisco, B. (2020). Google Earth Engine for geo-big data applications: A meta-analysis and systematic review. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, *164*, 152–170.
- Tekle, A. T., & Alemu, M. A. (2016). Drought tolerance mechanisms in field crops. *World Journal of Biology and Medical Sciences*, *3*(2), 15–39.
- Tomlinson, J., & Rhiney, K. (2018). Experiential learning as a tool for farmer engagement and empowerment in a changing regional climate. *Caribbean Quarterly*. <https://doi.org/10.1080/00086495.2018.1435342>
- Tramonti, M., Dochshanov, A. M., Fiadotau, M., & ... (2024). Game on for Climate Action: Big Game Delivers Engaging STEM Learning. In *Education* .... mdpi.com. <https://www.mdpi.com/2227-7102/14/8/893>
- Varma, O. P., & Vedanayagam, E. G. (2007). *Geography teaching*. Sterling Publishers Pvt. Ltd.
- Vicente-Serrano, S. M., Quiring, S. M., Peña-Gallardo, M., & ... (2020). A review of environmental droughts: Increased risk under global warming? *Earth-Science* .... <https://www.sciencedirect.com/science/artic>  
[le/pii/S0012825218306421](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0012825218306421)
- Wilhite, D. A., & Glantz, M. H. (1985). Understanding: the drought phenomenon: the role of definitions. *Water International*. <https://doi.org/10.1080/02508068508686328>
- Xiang, X., & Xi, D. (2024). Examining cognitive processes of spatial thinking in university students: Insights from a web-based geographic information systems study. *British Journal of Educational Technology*.
- Xing, H., Hou, D., Wang, S., Yu, M., & Meng, F. (2021). O-LCMapping: A Google Earth Engine-based web toolkit for supporting online land cover classification. *Earth Science Informatics*, *14*, 529–541.
- Yu, J. H., Lin, H. H., Lo, Y. C., Tseng, K. C., & Hsu, C. H. (2021). Measures to cope with the impact of climate change and drought in the island region: A study of the water literacy awareness, attitude, and behavior of the .... In *Water*. mdpi.com. [https://www.mdpi.com/2073-4441/13/13/1799?utm\\_source=releaseissue&utm\\_medium=email&utm\\_campaign=releaseissue\\_water&utm\\_term=titlelink56&recipient=aguadoc@live.com&subject=Water, Volume 13, Issue 13 \(July-1 2021\) Table of Contents&campaign=ReleaseIssue](https://www.mdpi.com/2073-4441/13/13/1799?utm_source=releaseissue&utm_medium=email&utm_campaign=releaseissue_water&utm_term=titlelink56&recipient=aguadoc@live.com&subject=Water, Volume 13, Issue 13 (July-1 2021) Table of Contents&campaign=ReleaseIssue)
- Zajda, J., & Zajda, J. (2021). Constructivist learning theory and creating effective learning environments. *Globalisation and Education Reforms: Creating Effective Learning Environments*, 35–50.
- Zeng, Z., Wu, W., Peñuelas, J., Li, Y., Jiao, W., Li, Z., & ... (2023). Increased risk of flash droughts with raised concurrent hot and dry extremes under global warming. In *npj Climate and ...* nature.com. <https://www.nature.com/articles/s41612-023-00468-2>
- Zhao, Q., Yu, L., Li, X., Peng, D., Zhang, Y., & Gong, P. (2021). Progress and trends in the application of Google Earth and Google Earth Engine. *Remote Sensing*, *13*(18), 3778.