

Sistem Pendukung Keputusan Penentuan Lokasi Early Warning System Tanah Longsor Menggunakan TOPSIS

Aang Maruf Perdana*, Mutaqin Akbar

Program Studi Informatika, Fakultas Teknologi Informasi, Universitas Mercu Buana Yogyakarta, Yogyakarta

Jl. Jembatan Merah No. 84C, Condongcatur, Depok, Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta, Indonesia

Email: ¹*231120193@student.mercubuana-yogya.ac.id, ²mutaqin@mercubuana-yogya.ac.id

Email Penulis Korespondensi: 231120193@student.mercubuana-yogya.ac.id

Submitted: 04/07/2026; Accepted: 20/07/2026; Published: 21/07/2026

Abstrak—Sebagai salah satu daerah di Daerah Istimewa Yogyakarta dengan tingkat kerentanan longsor yang relatif tinggi, Kabupaten Gunungkidul membutuhkan langkah mitigasi yang tepat sasaran, di antaranya dengan menerapkan Early Warning System (EWS) untuk mendeteksi potensi bencana secara dini. Kendala yang dihadapi Badan Penanggulangan Bencana Daerah (BPBD) Kabupaten Gunungkidul yaitu belum adanya suatu sistem yang dapat mendukung proses penentuan prioritas lokasi pemasangan EWS secara objektif dengan mempertimbangkan berbagai parameter risiko yang ada. Penelitian ini bertujuan mengembangkan Sistem Pendukung Keputusan (SPK) dengan menerapkan metode Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS) guna menghasilkan rekomendasi prioritas lokasi pemasangan EWS tanah longsor. Penelitian menggunakan data historis kejadian tanah longsor BPBD Kabupaten Gunungkidul tahun 2022–2025 dan Dokumen Kajian Risiko Bencana Kabupaten Gunungkidul 2026–2030 dengan 116 kalurahan sebagai alternatif. Penilaian dilakukan menggunakan empat kriteria, yaitu bahaya, kerentanan, kapasitas, dan frekuensi kejadian tanah longsor. Hasil penelitian menunjukkan bahwa Kalurahan Sawahan memperoleh nilai preferensi tertinggi sebesar 1,0000, diikuti Kalurahan Mertelu sebesar 0,9336 dan Kalurahan Ngalang sebesar 0,7481 sebagai lokasi prioritas pemasangan EWS tanah longsor. Sistem yang dikembangkan mampu mengotomatisasi proses perhitungan TOPSIS, menyajikan hasil perankingan secara cepat dan transparan, serta seluruh fungsi sistem berhasil dijalankan sesuai kebutuhan berdasarkan pengujian Black Box Testing. Pengembangan sistem ini diharapkan dapat mendukung BPBD Kabupaten Gunungkidul dalam menetapkan prioritas lokasi pemasangan Early Warning System (EWS) melalui proses pengambilan keputusan yang lebih terukur, berbasis data, dan objektif.

Kata Kunci: Early Warning System; Sistem Pendukung Keputusan; TOPSIS; Tanah Longsor; Mitigasi Bencana

Abstract—As one of the areas in the Special Region of Yogyakarta with a relatively high level of landslide vulnerability, Gunungkidul Regency requires targeted mitigation measures, including implementing an Early Warning System (EWS) to detect potential disasters early. The obstacle faced by the Gunungkidul Regency Regional Disaster Management Agency (BPBD) is the absence of a system that can support the process of determining priority locations for EWS installation objectively by considering various existing risk parameters. This research aims to develop a Decision Support System (DSS) by applying the Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS) method to produce priority recommendations for landslide EWS installation locations. The study utilized historical landslide occurrence data from BPBD Gunungkidul Regency covering the period of 2022–2025 and the Gunungkidul Regency Disaster Risk Assessment Document 2026–2030, with 116 villages (kalurahan) as the decision alternatives. The evaluation was conducted using four criteria: hazard, vulnerability, capacity, and landslide occurrence frequency. The results indicate that Sawahan Village achieved the highest preference value of 1.0000, followed by Mertelu Village with 0.9336 and Ngalang Village with 0.7481, making them the highest-priority locations for landslide EWS installation. The developed system successfully automates the TOPSIS calculation process, provides ranking results in a fast and transparent manner, and fulfills all functional requirements based on Black Box Testing. The proposed system is expected to support BPBD Gunungkidul Regency in determining priority locations for landslide Early Warning System (EWS) installation through a more measurable, data-driven, and objective decision-making process.

Keywords: Early Warning System; Decision Support System; TOPSIS; Landslide; Disaster Mitigation

1. PENDAHULUAN

Sebagai salah satu wilayah di Daerah Istimewa 1 tersebut, Undang-Undang Nomor 24 Tahun 2007 juga mengamanatkan pelaksanaan penanggulangan bencana secara terencana, terpadu, dan berkelanjutan sebagai upaya menekan risiko bencana[3].

Selama kurun waktu 2022–2025, data historis BPBD Kabupaten Gunungkidul mencatat total 584 kejadian tanah longsor yang tersebar pada 116 kalurahan, dengan jumlah masing-masing sebanyak 145 kejadian (2022), 160 kejadian (2023), 160 kejadian (2024), dan 119 kejadian (2025). Sebaran kejadian tersebut tidak merata, di mana Kalurahan Sawahan dan Kalurahan Mertelu masing-masing mencatat 49 kejadian, diikuti Kalurahan Ngalang sebanyak 36 kejadian, serta Kalurahan Hargomulyo sebanyak 32 kejadian. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa tingkat risiko tanah longsor pada setiap wilayah berbeda sehingga memerlukan penentuan prioritas mitigasi berdasarkan tingkat risiko masing-masing wilayah[4]. Untuk menekan risiko bencana tanah longsor, salah satu upaya mitigasi yang dapat ditempuh adalah dengan memasang Early Warning System (EWS), yang berperan memberikan informasi dini kepada masyarakat mengenai potensi ancaman bencana agar tersedia waktu yang memadai untuk melakukan tindakan penyelamatan sebelum bencana terjadi[5], [6]. Namun demikian, efektivitas EWS tidak hanya ditentukan oleh teknologi yang digunakan, tetapi juga dipengaruhi oleh ketepatan dalam

menentukan lokasi pemasangan. Penempatan EWS pada lokasi yang kurang sesuai dengan tingkat risiko dapat mengurangi efektivitas sistem dalam mendukung kegiatan mitigasi bencana[5], [7].

Berdasarkan hasil observasi di BPBD Kabupaten Gunungkidul, proses penentuan lokasi pemasangan EWS masih dilakukan melalui survei lapangan, pengalaman teknis petugas, serta pertimbangan para pemangku kepentingan. Pendekatan tersebut telah mempertimbangkan kondisi aktual di lapangan, namun belum didukung oleh sistem yang mampu mengintegrasikan berbagai parameter risiko secara terstruktur. Akibatnya, proses penentuan prioritas lokasi memerlukan waktu yang relatif lama dan berpotensi menghasilkan keputusan yang berbeda ketika dilakukan oleh pengambil keputusan yang berbeda. Hal ini mengindikasikan perlunya suatu Sistem Pendukung Keputusan (SPK) yang mampu mendukung proses pengambilan keputusan secara objektif, konsisten, dan berbasis data[8]. SPK telah banyak dikembangkan dengan pendekatan seperti analytical hierarchy process[9], [10], profile matching[11], [12], simple additive weighting[13], [14], weighted product[15], [16], dan salah satunya melalui penerapan metode Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS). Melalui metode ini, alternatif terbaik ditentukan berdasarkan kedekatannya dengan solusi ideal positif dan jaraknya dari solusi ideal negatif, sehingga urutan prioritas yang dihasilkan bersifat objektif[17], [18]. Karakteristik tersebut menjadikan TOPSIS sesuai digunakan dalam penentuan lokasi pemasangan EWS karena mampu mengakomodasi beberapa kriteria dengan tingkat kepentingan yang berbeda.

Sejumlah penelitian terdahulu menunjukkan bahwa metode TOPSIS telah banyak diterapkan dalam bidang kebencanaan. Rohman memanfaatkan metode TOPSIS untuk menetapkan lokasi pemasangan sistem peringatan dini banjir di Daerah Aliran Sungai Beringin[19]. Manyaga et al. melalui tinjauan sistematis menyimpulkan bahwa pendekatan MCDM semakin banyak digunakan dalam manajemen bencana karena mampu meningkatkan kualitas pengambilan keputusan[20]. Soebroto et al. mengembangkan Decision Support System untuk sistem peringatan dini banjir[7], sedangkan Utama dan Ikhwan mengembangkan SPK berbasis AHP-TOPSIS untuk mendukung alokasi sumber daya penanganan multi-bencana[21]. Penelitian lain oleh Oktariyanti et al. memanfaatkan pendekatan GIS berbasis AHP-TOPSIS dalam pemetaan kerentanan aliran lahar[22], sedangkan Alviola mengimplementasikan Spatial TOPSIS untuk menentukan kelayakan lokasi pos pengungsian pascabencana[23].

Mengacu pada permasalahan tersebut, penelitian ini dilakukan dengan tujuan mengembangkan SPK penentuan lokasi EWS tanah longsor menggunakan metode TOPSIS, sehingga dapat membantu BPBD Kabupaten Gunungkidul menetapkan prioritas lokasi pemasangan EWS secara lebih objektif, sistematis, dan berbasis data. Sistem dibangun menggunakan data historis kejadian tanah longsor BPBD tahun 2022–2025 dan Dokumen Kajian Risiko Bencana Tahun 2026–2030 sehingga diharapkan dapat mendukung pengambilan keputusan dalam penyusunan strategi mitigasi bencana tanah longsor di Kabupaten Gunungkidul. Kontribusi utama penelitian ini terletak pada pengembangan Sistem Pendukung Keputusan yang tidak hanya menerapkan metode TOPSIS sebagai teknik pengambilan keputusan multikriteria, tetapi juga mengintegrasikannya dengan WebGIS menggunakan data historis kejadian tanah longsor BPBD Kabupaten Gunungkidul Tahun 2022–2025 dan Dokumen Kajian Risiko Bencana Tahun 2026–2030. Pendekatan ini menghasilkan rekomendasi lokasi pemasangan Early Warning System (EWS) yang lebih objektif, transparan, dan mudah dipahami melalui visualisasi spasial sehingga dapat mendukung proses pengambilan keputusan di lingkungan BPBD Kabupaten Gunungkidul.

2. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini menerapkan pendekatan kuantitatif melalui pengembangan SPK yang menggunakan metode TOPSIS guna menentukan prioritas lokasi pemasangan EWS tanah longsor di Kabupaten Gunungkidul. Lokasi penelitian berada di BPBD Kabupaten Gunungkidul, dengan data yang digunakan mencakup data primer dan sekunder. Data primer dikumpulkan melalui observasi dan wawancara bersama petugas BPBD Kabupaten Gunungkidul, sedangkan data sekunder diperoleh dari data historis kejadian tanah longsor tahun 2022–2025, Dokumen Kajian Risiko Bencana Kabupaten Gunungkidul Tahun 2026–2030, serta berbagai literatur terkait Sistem Pendukung Keputusan, metode TOPSIS, dan mitigasi bencana tanah longsor[1], [4].

Penelitian dilakukan melalui beberapa tahapan yang saling berkaitan, yaitu identifikasi kebutuhan, pengumpulan data, perancangan sistem, implementasi sistem, dan pengujian sistem. Tahap identifikasi kebutuhan bertujuan untuk mengetahui permasalahan yang dihadapi BPBD Kabupaten Gunungkidul dalam menentukan lokasi pemasangan EWS serta mengidentifikasi kebutuhan pengguna terhadap sistem yang akan dikembangkan. Tahap berikutnya adalah pengumpulan data yang meliputi data historis kejadian tanah longsor, data Kajian Risiko Bencana, data alternatif berupa kalurahan, serta data penilaian berdasarkan kriteria penelitian. Selanjutnya dilakukan perancangan sistem yang mencakup perancangan basis data, proses sistem, antarmuka pengguna, dan penerapan metode TOPSIS ke dalam aplikasi. Hasil perancangan tersebut selanjutnya diimplementasikan dengan memanfaatkan framework Laravel, basis data MySQL, serta Leaflet sebagai media visualisasi WebGIS. Tahapan akhir dari penelitian ini adalah pengujian sistem menggunakan metode Black Box Testing guna memastikan seluruh fungsi aplikasi berjalan sesuai dengan kebutuhan pengguna. Alur penelitian secara keseluruhan disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Alur Penelitian

Sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 1, penelitian ini dilaksanakan melalui beberapa tahapan, mulai dari identifikasi kebutuhan hingga pengujian sistem. Setiap tahapan tersebut saling berkaitan sehingga menghasilkan Sistem Pendukung Keputusan yang mampu memberikan rekomendasi prioritas lokasi pemasangan Early Warning System tanah longsor berdasarkan hasil perhitungan metode TOPSIS.

2.1 Identifikasi Kebutuhan

Tahap identifikasi kebutuhan menjadi langkah awal dalam penelitian ini guna mengidentifikasi permasalahan yang dihadapi BPBD Kabupaten Gunungkidul terkait penentuan lokasi pemasangan EWS tanah longsor. Identifikasi dilakukan melalui observasi terhadap proses penentuan lokasi yang selama ini diterapkan serta wawancara dengan petugas BPBD yang terlibat dalam kegiatan mitigasi bencana. Selain itu, dilakukan studi literatur terhadap berbagai referensi mengenai SPK, metode TOPSIS, WebGIS, serta regulasi dan dokumen yang berkaitan dengan penanggulangan bencana tanah longsor [2]–[4].

Proses penentuan lokasi pemasangan EWS, berdasarkan hasil identifikasi, masih bertumpu pada survei lapangan dan pertimbangan teknis, sehingga cenderung memerlukan waktu lama dan berpotensi menghasilkan keputusan yang subjektif. Kondisi ini memperlihatkan perlunya suatu sistem yang mampu mengolah berbagai kriteria secara terstruktur untuk menghasilkan rekomendasi lokasi pemasangan EWS yang lebih objektif, konsisten, dan berbasis data. Merujuk pada hasil identifikasi tersebut, kebutuhan fungsional sistem terdiri atas pengelolaan data alternatif, data kriteria, data penilaian, proses perhitungan dengan metode TOPSIS, serta penyajian hasil rekomendasi berupa tabel peringkat dan peta digital, sementara kebutuhan nonfungsional mencakup kemudahan penggunaan (user friendly), keamanan akses melalui autentikasi, serta kecepatan dan akurasi sistem dalam menyajikan informasi guna mendukung pengambilan keputusan di BPBD Kabupaten Gunungkidul.

2.2 Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan untuk memperoleh berbagai informasi yang diperlukan selama proses penelitian, dengan data yang digunakan terdiri atas data primer dan data sekunder. Data primer diperoleh melalui observasi lapangan serta wawancara bersama petugas BPBD Kabupaten Gunungkidul guna menggali informasi terkait mekanisme penentuan lokasi pemasangan EWS, kebutuhan pengguna, dan kondisi eksisting wilayah rawan tanah longsor. Data sekunder diperoleh dari data historis kejadian tanah longsor BPBD Kabupaten Gunungkidul periode tahun 2022–2025, Dokumen Kajian Risiko Bencana Kabupaten Gunungkidul Tahun 2026–2030, Laporan Kinerja Instansi Pemerintah (LKjIP) BPBD Kabupaten Gunungkidul, serta berbagai referensi ilmiah yang berkaitan dengan Sistem Pendukung Keputusan, metode TOPSIS, dan mitigasi bencana tanah longsor [1], [4]. Seluruh data yang diperoleh kemudian dilakukan proses verifikasi dan validasi agar sesuai dengan kebutuhan penelitian sebelum digunakan dalam proses pengolahan.

Alternatif penelitian berupa 116 kalurahan di Kabupaten Gunungkidul yang ditetapkan berdasarkan data yang dimiliki oleh Badan Penanggulangan Bencana Daerah (BPBD) Kabupaten Gunungkidul. Setiap alternatif dinilai menggunakan empat kriteria utama, yaitu bahaya (C1), kerentanan (C2), kapasitas (C3), dan frekuensi kejadian tanah longsor (C4). Kriteria beserta bobot masing-masing kriteria ditetapkan oleh BPBD Kabupaten Gunungkidul berdasarkan hasil kajian risiko bencana, karakteristik wilayah, serta kebutuhan dalam menentukan prioritas lokasi pemasangan Early Warning System (EWS). Kriteria beserta bobot masing-masing kriteria ditetapkan oleh BPBD Kabupaten Gunungkidul berdasarkan hasil kajian risiko bencana, karakteristik wilayah, serta kebutuhan dalam menentukan prioritas lokasi pemasangan Early Warning System (EWS), sebagaimana disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Kriteria Penelitian

Kode	Kriteria	Bobot	Atribut
C1	Bahaya	0.30	Benefit
C2	Kerentanan	0.25	Benefit
C3	Kapasitas	0.20	Cost
C4	Frekuensi Kejadian	0.25	Benefit

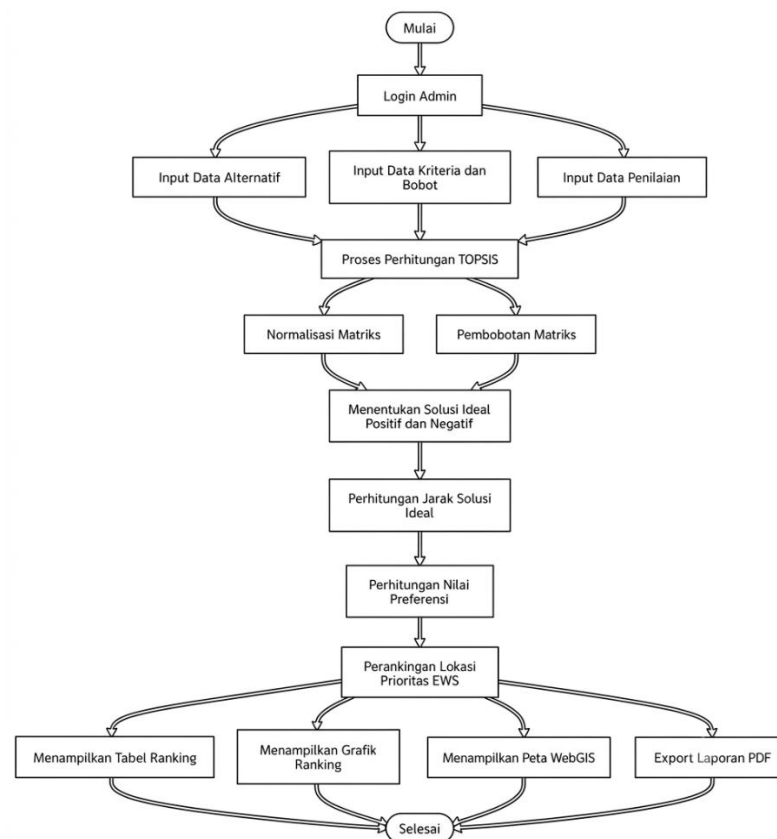
Penelitian ini menggunakan 116 alternatif berupa seluruh kalurahan di Kabupaten Gunungkidul. Sebagian alternatif penelitian ditampilkan pada Tabel 2 sebagai representasi data yang digunakan dalam proses perhitungan.

Tabel 2. Contoh Alternatif Penelitian

Kode	Kalurahan	Kapanewon
A1	Sawahan	Ponjong
A2	Mertelu	Gedangsari
A3	Ngalang	Gedangsari
A4	Hargomulyo	Gedangsari
A5	Tegalrejo	Gedangsari
A6	Watugajah	Gedangsari
A7	Candirejo	Semin
A8	Terbah	Patuk
A9	Jurangjero	Ngawen
A10	Tancep	Ngawen
...	...	...
A116	Kalurahan lainnya	Kabupaten Gunungkidul

2.3 Perancangan Sistem

Tahap perancangan sistem dilaksanakan berdasarkan hasil identifikasi kebutuhan serta data penelitian yang telah dikumpulkan sebelumnya. Perancangan ini bertujuan menghasilkan Sistem Pendukung Keputusan yang mampu mengelola data, melakukan proses perhitungan dengan metode TOPSIS, serta menyajikan hasil rekomendasi lokasi pemasangan EWS tanah longsor secara terintegrasi. Proses perancangan sistem mencakup penyusunan struktur basis data, perancangan alur proses sistem, serta perancangan antarmuka pengguna. Struktur basis data dirancang untuk mengelola data pengguna, data alternatif, data kriteria, data penilaian, dan hasil perhitungan TOPSIS. Perancangan alur proses menggambarkan aliran data mulai dari tahap input hingga dihasilkannya rekomendasi lokasi prioritas pemasangan EWS, sementara perancangan antarmuka dilakukan agar pengguna dapat lebih mudah mengoperasikan seluruh fungsi sistem. Dalam artikel ini, proses perancangan sistem digambarkan melalui Diagram Alir Sistem yang menunjukkan alur kerja aplikasi, mulai dari pengelolaan data, proses perhitungan dengan metode TOPSIS, hingga penyajian hasil rekomendasi kepada pengguna. Diagram tersebut digunakan untuk memberikan gambaran menyeluruh mengenai mekanisme kerja sistem sebelum memasuki tahap implementasi.



Gambar 2. Diagram Alir Sistem

Sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2, alur sistem dimulai dari proses autentikasi pengguna, dilanjutkan dengan pengelolaan data alternatif, data kriteria, serta data penilaian, sebelum akhirnya sistem melakukan

perhitungan dengan metode TOPSIS untuk memperoleh nilai preferensi tiap alternatif. Hasil perhitungan kemudian ditampilkan dalam bentuk tabel pemeringkatan dan visualisasi lokasi prioritas pemasangan Early Warning System berbasis WebGIS.

2.4 Implementasi Sistem

Implementasi sistem dilakukan dengan membangun sistem berbasis web menggunakan framework Laravel, basis data MySQL, serta Leaflet sebagai media visualisasi WebGIS, sesuai dengan hasil perancangan yang telah ditetapkan agar seluruh fungsi sistem sesuai kebutuhan pengguna. Fitur-fitur utama yang tersedia dalam aplikasi mencakup autentikasi pengguna, pengelolaan data alternatif, kriteria, dan penilaian, perhitungan metode TOPSIS, penyajian hasil pemeringkatan, visualisasi lokasi prioritas pemasangan EWS berupa peta digital, serta pembuatan laporan, di mana seluruh perhitungan berlangsung otomatis sehingga meminimalkan kesalahan manual dan mempercepat pengambilan keputusan.

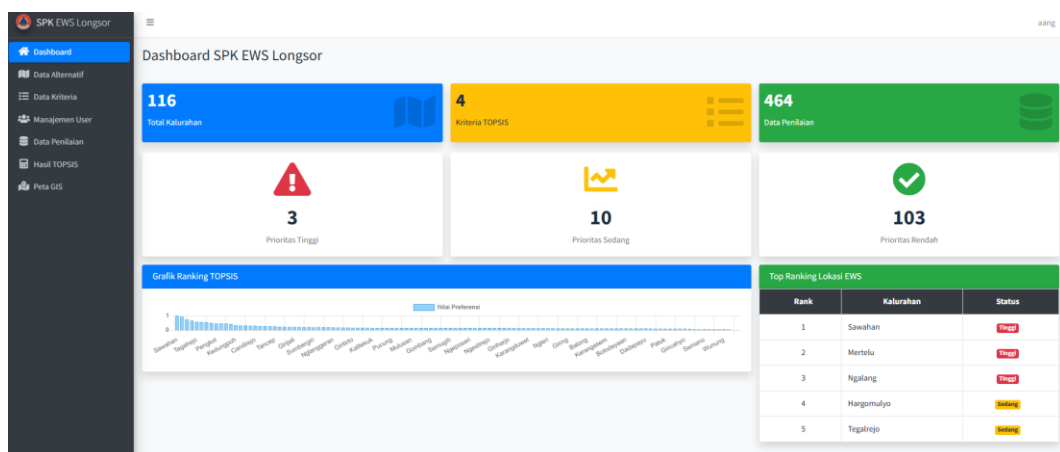
2.5 Pengujian Sistem

Tahap terakhir dalam penelitian ini adalah pengujian sistem. Pengujian dilakukan dengan menggunakan metode black box testing yang bertujuan untuk mengetahui apakah seluruh fungsi aplikasi telah berjalan sesuai dengan kebutuhan pengguna[24], [25]. Pengujian ini difokuskan pada aspek fungsional tanpa memperhatikan struktur kode program, sehingga setiap fitur diuji berdasarkan masukan dan keluaran yang dihasilkan. Pengujian dilakukan terhadap seluruh modul utama sistem, meliputi proses login, pengelolaan data alternatif, pengelolaan data kriteria, pengelolaan data penilaian, proses perhitungan metode TOPSIS, visualisasi WebGIS, serta pembuatan laporan. Setiap fungsi dinyatakan berhasil apabila keluaran yang dihasilkan sesuai dengan skenario pengujian yang telah ditentukan. Hasil pengujian menunjukkan bahwa seluruh fitur utama sistem dapat berjalan dengan baik, sehingga aplikasi ini dinilai layak digunakan sebagai alat pendukung pengambilan keputusan dalam menentukan prioritas lokasi pemasangan EWS tanah longsor di Kabupaten Gunungkidul.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

SPK penentuan lokasi EWS tanah longsor berhasil diimplementasikan dalam bentuk aplikasi berbasis web menggunakan framework Laravel, basis data MySQL, serta Leaflet sebagai media visualisasi peta. Implementasi sistem bertujuan untuk membantu BPBD Kabupaten Gunungkidul dalam menentukan lokasi prioritas pemasangan EWS secara lebih objektif, cepat, dan berbasis data. Seluruh proses mulai dari pengelolaan data, perhitungan metode TOPSIS, hingga penyajian hasil rekomendasi dilakukan secara otomatis oleh sistem sehingga dapat mengurangi subjektivitas dalam proses pengambilan keputusan.

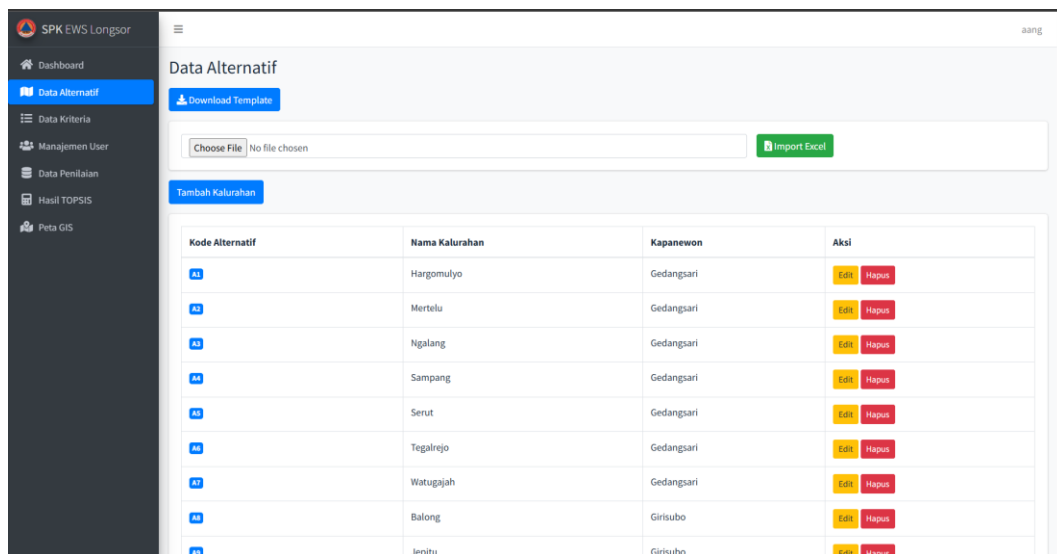
Halaman login menjadi tampilan awal aplikasi sebagai bentuk mekanisme autentikasi pengguna, di mana pengguna dengan hak akses tertentu wajib memasukkan alamat surel dan kata sandi yang telah terdaftar sebelum dapat mengakses keseluruhan fitur sistem. Begitu proses autentikasi berhasil, pengguna akan masuk ke halaman dashboard yang berisi informasi ringkas terkait jumlah alternatif, jumlah kriteria, jumlah data penilaian, serta jumlah hasil pemeringkatan. Dashboard juga menyediakan menu navigasi menuju seluruh modul sistem sehingga memudahkan administrator dalam melakukan pengelolaan data dan proses analisis, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Halaman Dashboard Sistem

Modul berikutnya adalah halaman data alternatif yang digunakan untuk mengelola data kalurahan yang menjadi kandidat lokasi pemasangan EWS tanah longsor. Pada halaman ini administrator dapat menambah, mengubah, menghapus, melakukan pencarian, serta mengimpor data alternatif dari berkas Microsoft Excel. Seluruh alternatif yang tersimpan menjadi masukan utama dalam proses perhitungan metode TOPSIS. Selain data

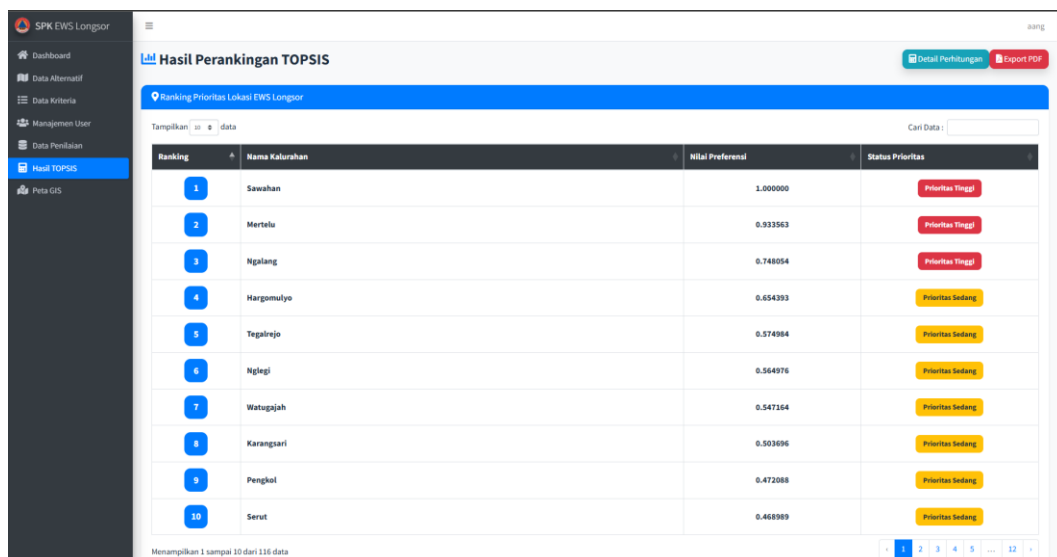
alternatif, sistem juga menyediakan modul pengelolaan data kriteria dan data penilaian. Administrator dapat menentukan bobot setiap kriteria serta memasukkan nilai setiap alternatif berdasarkan parameter bahaya, kerentanan, kapasitas, dan frekuensi kejadian tanah longsor. Data tersebut selanjutnya digunakan sebagai matriks keputusan dalam proses TOPSIS, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 4.



Kode Alternatif	Nama Kalurahan	Kapanewon	Aksi
A1	Hargomulyo	Gedangsari	Edit Hapus
A2	Mertelu	Gedangsari	Edit Hapus
A3	Ngalang	Gedangsari	Edit Hapus
A4	Sampang	Gedangsari	Edit Hapus
A5	Serut	Gedangsari	Edit Hapus
A6	Tegalrejo	Gedangsari	Edit Hapus
A7	Watugajah	Gedangsari	Edit Hapus
A8	Balong	Girisubo	Edit Hapus
A9	Jepitu	Girisubo	Edit Hapus

Gambar 4. Halaman Data Alternatif

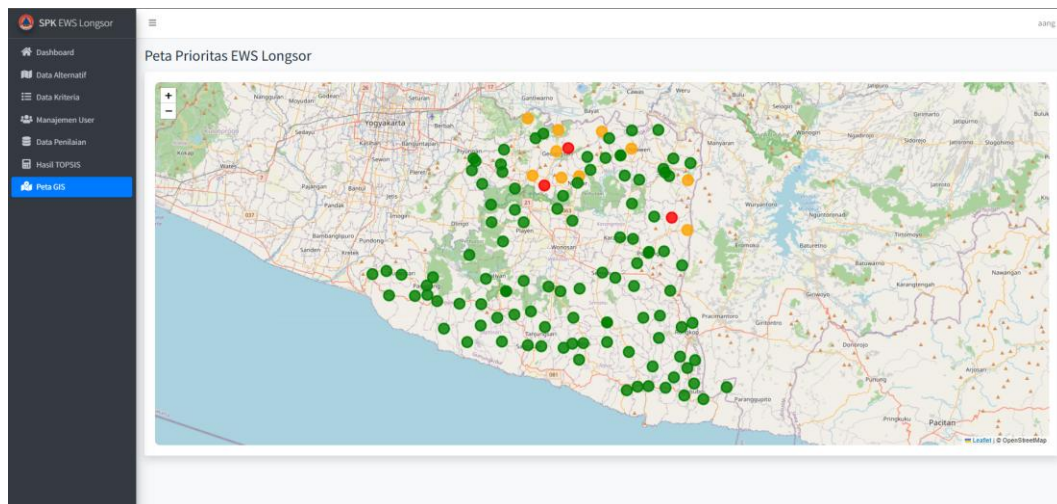
Proses perhitungan metode TOPSIS berlangsung secara otomatis melalui sistem. Setelah data alternatif, kriteria, bobot, dan penilaian dimasukkan, sistem secara berurutan membentuk matriks keputusan, melakukan normalisasi, menghitung matriks ternormalisasi terbobot, menentukan solusi ideal positif dan negatif, menghitung jarak setiap alternatif terhadap solusi ideal, dan menghasilkan nilai preferensi beserta urutan prioritas lokasi pemasangan EWS. Untuk meningkatkan transparansi proses pengambilan keputusan, sistem juga menyediakan halaman detail perhitungan yang menampilkan seluruh tahapan TOPSIS secara sistematis sehingga pengguna dapat menelusuri proses perhitungan hingga diperoleh nilai akhir setiap alternatif, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 5.



Ranking	Nama Kalurahan	Nilai Preferensi	Status Prioritas
1	Sawahan	1.000000	Prioritas Tinggi
2	Mertelu	0.933563	Prioritas Tinggi
3	Ngalang	0.748054	Prioritas Tinggi
4	Hargomulyo	0.654393	Prioritas Sedang
5	Tegalrejo	0.574984	Prioritas Sedang
6	Nglegi	0.564976	Prioritas Sedang
7	Watugajah	0.547264	Prioritas Sedang
8	Karang Sari	0.503696	Prioritas Sedang
9	Pengkol	0.472088	Prioritas Sedang
10	Serut	0.468989	Prioritas Sedang

Gambar 5. Halaman Hasil dan Detail Perhitungan TOPSIS

Selain menyajikan hasil dalam bentuk tabel pemeringkatan, aplikasi juga mengintegrasikan fitur WebGIS yang menampilkan persebaran lokasi prioritas pemasangan EWS pada peta digital. Setiap alternatif divisualisasikan sesuai posisi geografisnya sehingga pengguna dapat melihat hubungan spasial antarwilayah dan mengidentifikasi area yang memerlukan prioritas penanganan. Penyajian informasi dalam bentuk peta memberikan kemudahan bagi BPBD Kabupaten Gunungkidul dalam melakukan analisis wilayah rawan longsor dan mendukung penyusunan rencana mitigasi yang lebih tepat sasaran, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Visualisasi Lokasi Prioritas EWS Berbasis WebGIS

Metode TOPSIS diterapkan terhadap 116 kalurahan di Kabupaten Gunungkidul menggunakan empat kriteria utama, yaitu bahaya, kerentanan, kapasitas, dan frekuensi kejadian tanah longsor. Seluruh tahapan perhitungan dilakukan secara otomatis oleh sistem sehingga mampu menghasilkan nilai preferensi untuk setiap alternatif. Semakin besar nilai preferensi yang diperoleh suatu kalurahan, semakin tinggi prioritas wilayah tersebut sebagai lokasi pemasangan EWS tanah longsor. Berdasarkan hasil perhitungan, diperoleh sepuluh kalurahan dengan nilai preferensi tertinggi sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Sepuluh Kalurahan dengan Nilai Preferensi Tertinggi

Rangking	Kalurahan	Nilai Preferensi	Status
1	Sawahan	1,0000	Prioritas Tinggi
2	Mertelu	0,9336	Prioritas Tinggi
3	Ngalang	0,7481	Prioritas Tinggi
4	Hargomulyo	0,6544	Prioritas Sedang
5	Tegalrejo	0,5750	Prioritas Sedang
6	Nglegi	0,5650	Prioritas Sedang
7	Watugajah	0,5472	Prioritas Sedang
8	Karangsari	0,5037	Prioritas Sedang
9	Pengkol	0,4721	Prioritas Sedang
10	Serut	0,4690	Prioritas Sedang

Hasil pada Tabel 3 menunjukkan bahwa Kalurahan Sawahan memperoleh nilai preferensi tertinggi sebesar 1,0000, sehingga direkomendasikan sebagai prioritas utama pemasangan EWS tanah longsor. Posisi berikutnya ditempati oleh Kalurahan Mertelu dengan nilai 0,9336, kemudian Kalurahan Ngalang dengan nilai 0,7481. Ketiga wilayah tersebut dikategorikan sebagai prioritas tinggi, sedangkan tujuh wilayah berikutnya termasuk kategori prioritas sedang. Hasil ini menunjukkan bahwa metode TOPSIS mampu menghasilkan pemeringkatan yang jelas berdasarkan kombinasi seluruh kriteria yang digunakan.

3.1 Pembahasan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS) mampu menghasilkan pemeringkatan prioritas lokasi pemasangan Early Warning System (EWS) tanah longsor berdasarkan empat kriteria utama, yaitu bahaya, kerentanan, kapasitas, dan frekuensi kejadian tanah longsor. Berdasarkan hasil perhitungan, Kalurahan Sawahan memperoleh nilai preferensi tertinggi sebesar 1,0000, diikuti Kalurahan Mertelu sebesar 0,9336, dan Kalurahan Ngalang sebesar 0,7481. Hasil tersebut menunjukkan bahwa alternatif dengan tingkat bahaya, kerentanan, dan frekuensi kejadian yang tinggi serta kapasitas yang relatif lebih rendah memiliki prioritas lebih tinggi sebagai lokasi pemasangan EWS. Dengan demikian, metode TOPSIS mampu mengakomodasi berbagai kriteria yang memiliki tingkat kepentingan berbeda menjadi suatu rekomendasi yang objektif dan terukur.

Temuan penelitian ini sejalan dengan penelitian Rohman yang menerapkan metode TOPSIS untuk menentukan lokasi pemasangan sistem peringatan dini banjir di Daerah Aliran Sungai Beringin[19]. Penelitian tersebut menunjukkan bahwa TOPSIS mampu menghasilkan urutan prioritas lokasi berdasarkan kedekatan terhadap solusi ideal positif dan jarak terhadap solusi ideal negatif. Persamaan kedua penelitian terletak pada kemampuan metode TOPSIS dalam memberikan rekomendasi lokasi secara objektif melalui proses pembobotan dan pemeringkatan alternatif berdasarkan banyak kriteria. Namun demikian, penelitian ini memiliki cakupan yang

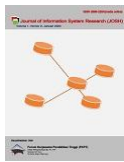
lebih luas karena menggunakan 116 kalurahan sebagai alternatif dan memanfaatkan data historis kejadian tanah longsor BPBD Kabupaten Gunungkidul Tahun 2022–2025 serta Dokumen Kajian Risiko Bencana Kabupaten Gunungkidul Tahun 2026–2030 sebagai dasar penilaian. Hasil penelitian ini juga mendukung kajian yang dilakukan oleh Manyaga et al. yang menyatakan bahwa pendekatan Multi-Criteria Decision Making (MCDM) semakin banyak diterapkan dalam manajemen bencana karena mampu meningkatkan kualitas pengambilan keputusan dibandingkan pendekatan konvensional[20]. Pada penelitian ini, penerapan TOPSIS memberikan proses penilaian yang lebih sistematis dibandingkan mekanisme penentuan lokasi pemasangan EWS yang sebelumnya lebih mengandalkan survei lapangan, pengalaman teknis petugas, serta pertimbangan para pemangku kepentingan. Dengan adanya proses normalisasi, pembobotan, penentuan solusi ideal, dan perhitungan nilai preferensi, rekomendasi yang dihasilkan menjadi lebih konsisten, transparan, dan mudah dipertanggungjawabkan.

Temuan penelitian ini juga sejalan dengan penelitian Soebroto et al. yang mengembangkan Decision Support System untuk sistem peringatan dini banjir[7]. Kedua penelitian sama-sama memanfaatkan sistem pendukung keputusan untuk mendukung upaya mitigasi bencana melalui penyediaan informasi yang dapat membantu pengambil keputusan menentukan prioritas penanganan. Perbedaannya, penelitian Soebroto et al. berfokus pada sistem peringatan dini banjir, sedangkan penelitian ini secara khusus mengembangkan sistem untuk menentukan prioritas lokasi pemasangan EWS tanah longsor dengan mempertimbangkan karakteristik risiko wilayah di Kabupaten Gunungkidul. Selain itu, penelitian ini mengintegrasikan metode TOPSIS dengan WebGIS, sehingga hasil pemeringkatan tidak hanya disajikan dalam bentuk tabel, tetapi juga divisualisasikan secara spasial sehingga memudahkan proses identifikasi wilayah prioritas. Hasil penelitian ini juga mendukung penelitian Barman et al. yang menjelaskan bahwa metode TOPSIS memiliki kemampuan yang baik dalam menganalisis kerentanan tanah longsor melalui pemanfaatan data spasial dan sistem informasi geografis[17]. Penelitian tersebut menunjukkan bahwa kombinasi TOPSIS dengan data geografis mampu memberikan hasil analisis yang lebih komprehensif terhadap kondisi wilayah. Pada penelitian ini, konsep tersebut diimplementasikan melalui integrasi hasil perhitungan TOPSIS ke dalam WebGIS sehingga lokasi prioritas pemasangan EWS dapat divisualisasikan secara langsung pada peta digital. Integrasi tersebut memberikan nilai tambah karena mempermudah BPBD Kabupaten Gunungkidul dalam melakukan analisis spasial terhadap persebaran wilayah prioritas pemasangan EWS. Hasil penelitian ini juga sesuai dengan hasil kajian Taherdoost dan Madanchian yang menyimpulkan bahwa TOPSIS merupakan salah satu metode MCDM yang memiliki proses perhitungan sederhana, mudah diimplementasikan, serta mampu menghasilkan pemeringkatan alternatif secara konsisten[18]. Karakteristik tersebut terlihat pada penelitian ini, di mana seluruh tahapan perhitungan mulai dari pembentukan matriks keputusan, normalisasi, pembobotan, penentuan solusi ideal positif dan negatif, hingga perhitungan nilai preferensi dapat diotomatisasi oleh sistem. Otomatisasi tersebut tidak hanya mempercepat proses analisis, tetapi juga mengurangi potensi kesalahan yang dapat terjadi pada proses perhitungan secara manual.

Jika dibandingkan dengan penelitian Utama dan Ikhwan, terdapat perbedaan pada pendekatan yang digunakan[21]. Penelitian tersebut mengombinasikan metode AHP-TOPSIS untuk mendukung alokasi sumber daya pada penanganan multi-bencana, sedangkan penelitian ini menerapkan metode TOPSIS secara langsung dengan bobot kriteria yang telah ditetapkan oleh BPBD Kabupaten Gunungkidul berdasarkan hasil kajian risiko bencana. Pendekatan tersebut dipilih karena sesuai dengan kebutuhan penelitian yang berfokus pada penentuan prioritas lokasi pemasangan EWS tanah longsor. Meskipun menggunakan pendekatan yang berbeda, kedua penelitian menunjukkan bahwa metode TOPSIS mampu mendukung proses pengambilan keputusan yang lebih objektif dibandingkan penilaian konvensional. Selain itu, penelitian ini memiliki kesamaan dengan penelitian Oktariyanti et al. dan Alviola yang memanfaatkan pendekatan spasial dalam mendukung pengambilan keputusan kebencanaan. Penelitian Oktariyanti et al. mengintegrasikan GIS dengan metode AHP-TOPSIS untuk memetakan kerentanan aliran lahar, sedangkan Alviola menerapkan Spatial TOPSIS dalam menentukan kelayakan lokasi pos pengungsian pascabencana[22],[23]. Berbeda dengan kedua penelitian tersebut, penelitian ini mengintegrasikan hasil pemeringkatan TOPSIS ke dalam WebGIS untuk mendukung penentuan lokasi pemasangan EWS tanah longsor di Kabupaten Gunungkidul. Pendekatan tersebut memberikan informasi tidak hanya dalam bentuk nilai preferensi, tetapi juga dalam bentuk visualisasi spasial yang mempermudah interpretasi hasil oleh pengambil keputusan.

4. KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil mengembangkan SPK untuk menentukan prioritas lokasi pemasangan EWS tanah longsor di Kabupaten Gunungkidul menggunakan metode TOPSIS. Sistem dibangun dengan memanfaatkan data historis kejadian tanah longsor BPBD Kabupaten Gunungkidul tahun 2022–2025 dan Dokumen Kajian Risiko Bencana Kabupaten Gunungkidul Tahun 2026–2030, serta menggunakan empat kriteria utama, yaitu bahaya, kerentanan, kapasitas, dan frekuensi kejadian tanah longsor. Implementasi metode TOPSIS mampu mengolah data secara sistematis melalui proses pembentukan matriks keputusan, normalisasi, pembobotan, penentuan solusi ideal positif dan negatif, hingga menghasilkan nilai preferensi sebagai dasar penentuan prioritas lokasi pemasangan EWS. Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode TOPSIS mampu memberikan rekomendasi lokasi pemasangan EWS secara objektif berdasarkan data dan bobot kriteria yang digunakan. Berdasarkan hasil perankingan, Kalurahan



Sawahan memperoleh nilai preferensi tertinggi sebesar 1,0000, diikuti oleh Kalurahan Mertelu dengan nilai 0,9336 dan Kalurahan Ngalang dengan nilai 0,7481, sehingga ketiga wilayah tersebut direkomendasikan sebagai prioritas tinggi dalam pemasangan EWS tanah longsor. Hasil tersebut menunjukkan bahwa kombinasi kriteria bahaya, kerentanan, kapasitas, dan frekuensi kejadian mampu membedakan tingkat prioritas setiap wilayah secara lebih terukur dibandingkan penentuan berdasarkan pertimbangan subjektif. Selain menghasilkan rekomendasi prioritas, penelitian ini juga berhasil mengimplementasikan hasil perhitungan TOPSIS ke dalam Sistem Pendukung Keputusan berbasis web yang dilengkapi dengan visualisasi WebGIS, sehingga memudahkan BPBD Kabupaten Gunungkidul dalam mengelola data, melakukan analisis, dan menyajikan hasil rekomendasi lokasi pemasangan EWS secara lebih cepat dan informatif. Hasil pengujian menggunakan Black Box Testing menunjukkan bahwa seluruh fungsi utama sistem, mulai dari pengelolaan data, proses perhitungan TOPSIS, visualisasi peta, hingga pembuatan laporan, berjalan sesuai dengan kebutuhan pengguna sehingga sistem layak digunakan sebagai alat bantu pengambilan keputusan. Penelitian ini masih memiliki beberapa keterbatasan. Penilaian alternatif hanya menggunakan empat kriteria utama dan masih bergantung pada data historis kejadian tanah longsor serta Dokumen Kajian Risiko Bencana yang tersedia pada saat penelitian dilakukan. Selain itu, rekomendasi yang dihasilkan belum mempertimbangkan perubahan kondisi lingkungan secara dinamis maupun data pemantauan lapangan secara real-time. Oleh karena itu, penelitian selanjutnya dapat mengembangkan sistem dengan menambahkan parameter lain yang relevan, mengintegrasikan data sensor atau data cuaca secara real-time, serta membandingkan metode TOPSIS dengan metode Multi-Criteria Decision Making lainnya untuk mengevaluasi konsistensi dan meningkatkan akurasi hasil rekomendasi. Dengan pengembangan tersebut, sistem diharapkan dapat semakin mendukung proses mitigasi bencana tanah longsor secara efektif dan berkelanjutan.

REFERENCES

- [1] Badan Penanggulangan Bencana Daerah Kabupaten Gunungkidul, “Dokumen Kajian Risiko Bencana Kabupaten Gunungkidul 2026-2030.” Pemerintah Kabupaten Gunungkidul, Badan Penanggulangan Bencana Daerah Kabupaten Gunungkidul, 2025. [Online]. Available: <https://bpbd.gunungkidulkab.go.id/permohonan-informasi/>
- [2] Pemerintah Kabupaten Gunungkidul, Peraturan Bupati Gunungkidul Nomor 24 Tahun 2025 Tentang Rencana Penanggulangan Bencana Tahun 2025-2029. 2025, pp. 1–180. [Online]. Available: <https://peraturan.bpk.go.id/Details/330297/perbup-kab-gunungkidul-no-24-tahun-2025>
- [3] Republik Indonesia, Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 24 Tahun 2007 Tentang Penanggulangan Bencana. 2007, pp. 1–34. [Online]. Available: <https://peraturan.bpk.go.id/Download/29492/UU%20Nomor%2024%20Tahun%202007.pdf>
- [4] Badan Penanggulangan Bencana Daerah Kabupaten Gunungkidul, “Laporan Kinerja Instansi Pemerintah (LKjIP).” Pemerintah Kabupaten Gunungkidul, Badan Penanggulangan Bencana Daerah Kabupaten Gunungkidul, 2025. [Online]. Available: <https://bpbd.gunungkidulkab.go.id/laporan-kinerja/>
- [5] C. Werthmann et al., “Insights into the development of a landslide early warning system prototype in an informal settlement: the case of Bello Oriente in Medellín, Colombia,” *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, vol. 24, no. 5, pp. 1843–1870, May 2024, doi: 10.5194/nhess-24-1843-2024.
- [6] A. Helmi and N. H. Muthohharoh, “Sistem Peringatan Dini berbasis Masyarakat di Daerah Rawan Bencana: Studi di Tiga Desa di Provinsi Nusa Tenggara Timur, Indonesia,” *SKA*, vol. 14, no. 1, pp. 48–64, Dec. 2024, doi: 10.33007/ska.v14i1.3302.
- [7] A. A. Soebroto, L. M. Limantara, E. Suhartanto, and Moh. Sholichin, “Modelling of Flood Hazard Early Warning Group Decision Support System,” *Civ. Eng. J.*, vol. 10, no. 2, pp. 614–627, Feb. 2024, doi: 10.28991/CEJ-2024-010-02-018.
- [8] W. J. Adhyaksa and M. Akbar, “Sistem Pendukung Keputusan Seleksi Calon Murid Sekolah Airlines menggunakan Metode TOPSIS (Studi Kasus : QPTC Dimas Airlines School),” *Inform. Artif. Intell. J.*, vol. 1, no. 2, Art. no. 2, Jun. 2024.
- [9] F. N. Cahya, A. Zumarniansyah, and H. Hikmatulloh, “Sistem Pendukung Keputusan Seleksi Penerimaan Karyawan dengan Metode Analytical Hierarchy Process,” *J. Tek. Komput. AMIK BSI*, vol. 8, no. 2, pp. 140–146, 2022, doi: <https://doi.org/10.31294/jtk.v8i2.12814>.
- [10] E. Arifadillah and M. Akbar, “SISTEM PENDUKUNG KEPUTUSAN PEMILIHAN BAND TERBAIK MENGGUNAKAN ANALYTICAL HIERARCHY PROCESS DAN MULTI-FACTOR EVALUATION PROCESS,” *J. Inform. Teknol. Dan Sains*, vol. 7, no. 2, pp. 1032–1043, Jul. 2025.
- [11] S. Wahyuni and F. R. Mubarak, “PENERAPAN METODE PROFILE MATCHING DALAM PENENTUAN PESERTA PELATIHAN TERBAIK (STUDI KASUS: LPK Prima Buana Indonesia Cabang Purwakarta),” *J. Inf. Dan Komput.*, vol. 10, no. 2, pp. 205–217, Oct. 2022, doi: 10.35959/jik.v10i2.323.
- [12] J. Q. Tilman and M. Akbar, “Sistem Pendukung Keputusan dengan Profile Matching: Studi Kasus Kenaikan Jabatan Karyawan di PT Madubaru,” *KONSTELASI Konvergensi Teknol. Dan Sist. Inf.*, vol. 3, no. 1, pp. 113–121, Jun. 2023, doi: 10.24002/konstelasi.v3i1.7066.
- [13] D. Fajriansyah and M. Akbar, “Sistem Pendukung Keputusan Perencanaan Kelas Pelatihan IT Menggunakan Metode Simple Additive Weighting: Studi Kasus pada Perusahaan Pelatihan IT di Kota Yogyakarta,” *Sudo J. Tek. Inform.*, vol. 5, no. 1, pp. 32–42, Mar. 2026, doi: 10.56211/sudo.v5i1.1543.
- [14] M. Nizam Iba and M. Akbar, “SISTEM PENDUKUNG KEPUTUSAN REKOMENDASI SATUAN PENGAMAN TERBAIK MENGGUNAKAN METODE SIMPLE ADDITIVE WEIGHTING,” *JATI J. Mhs. Tek. Inform.*, vol. 10, no. 2, pp. 2532–2539, Mar. 2026, doi: 10.36040/jati.v10i2.17574.
- [15] F. Ertandi and M. Akbar, “Sistem Pendukung Keputusan Rekomendasi Buku Novel menggunakan Metode Weighted Product,” *remik*, vol. 9, no. 1, pp. 366–381, Jan. 2025, doi: 10.33395/remik.v9i1.14515.



- [16] A. D. Saputra and M. Akbar, “Sistem Pendukung Keputusan untuk Penentuan Investasi Cryptocurrency Menggunakan Metode Weighted Product,” *J. Inform. Manag. Inf. Technol.*, vol. 5, no. 3, Art. no. 3, Jul. 2025, doi: 10.47065/jimat.v5i3.570.
- [17] J. Barman, B. Biswas, S. S. Ali, and M. Zhran, “The TOPSIS method: Figuring the landslide susceptibility using Excel and GIS,” *MethodsX*, vol. 13, p. 103005, Dec. 2024, doi: 10.1016/j.mex.2024.103005.
- [18] H. Taherdoost and M. Madanchian, “A Comprehensive Survey and Literature Review on TOPSIS,” *Int. J. Serv. Sci. Manag. Eng. Technol.*, vol. 15, no. 1, pp. 1–65, Aug. 2024, doi: 10.4018/IJSSMET.347947.
- [19] A. Rohman, “Sistem Pendukung Keputusan Menentukan Titik Lokasi Pemasangan Sistem Peringatan Dini Banjir Di Daerah Aliran Sungai Beringin Menggunakan Metode Topsis,” *Skripsi, Universitas Semarang, Semarang*, 2021. [Online]. Available: <https://eskripsi.usm.ac.id/files/skripsi/G11A/2016/G.131.16.0092/G.131.16.0092-15-File-Komplit-20210830104823.pdf>
- [20] F. Manyaga, N. Nilufer, and Z. Hajaoui, “A systematic literature review on multi-criteria decision making in disaster management,” *Int. J. Bus. Ecosyst. Strategy* 2687-2293, vol. 2, no. 2, pp. 1–7, Dec. 2020, doi: 10.36096/ijbes.v2i2.197.
- [21] A. D. Utama and A. Ikhwan, “Pengembangan Sistem Pendukung Keputusan AHP-TOPSIS Untuk Alokasi Sumber Daya Penanganan Multi-Bencana BPBD,” *J. Telecommun. Electron. Control Eng. JTECE*, vol. 7, no. 2, pp. 134–149, Jul. 2025, doi: 10.20895/jtece.v7i2.1873.
- [22] S. Oktariyanti, E. Hidayah, Saifurridzal, M. F. Ma’ruf, N. N. Hayati, and Z. Yusop, “Mapping of Mount Semeru Volcanic Mudflow Susceptibility Along the Rejali River using the GIS-based AHP-TOPSIS Ensemble Approach,” *J. Civ. Eng. Forum*, vol. 9, no. 3, pp. 303–314, 2023, doi: 10.22146/jcef.6691.
- [23] N. A. Alviola, “Implementasi Spatial Topsis Untuk Menentukan Kelayakan Pos Pengungsian Pasca Bencana Alam,” *Skripsi, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang*, 2024. [Online]. Available: <http://etheses.uin-malang.ac.id/65990/>
- [24] G. S. Mahendra and I. K. A. Asmarajaya, “Evaluation Using Black Box Testing and System Usability Scale in the Kidung Sekar Madya Application,” *Sinkron*, vol. 7, no. 4, pp. 2292–2302, Oct. 2022, doi: 10.33395/sinkron.v7i4.11755.
- [25] H. Raihan and A. Voutama, “Pengujian Black Box Pada Aplikasi Database Perguruan Tinggi dengan Teknik Equivalence Partition,” *Antivirus J. Ilm. Tek. Inform.*, vol. 17, no. 1, pp. 1–18, Jun. 2023, doi: 10.35457/antivirus.v17i1.2501.