

Integrasi Big Data Dan Iot Dalam Sistem Peringatan Dini Bencana di Indonesia: Systematic Literature Review

Author:

Vivi Dwi Ardiyanti^{1*}, Diva Paradiba², Javanca Sem Brian Sinaga³, Mohammad Rezza Fahlevvi⁴, Putri Berlian Aulia Rizkiyana⁵

Affiliation:

Institut Pemerintahan Dalam Negeri, Jl. Ir. Soekarno Km. 20, Jatinangor 45363, Indonesia^{1,2,3,4}
UPN Veteran Jawa Timur, Jl. Raya Rungkut Madya, Gunung Anyar, Surabaya, Indonesia⁵

e-Mail: 34.0262@praja.ipdn.ac.id¹, 34.0408@praja.ipdn.ac.id², 34.0510@praja.ipdn.ac.id³, rezza@ipdn.ac.id⁴, ptriberlianaulia@gmail.com⁵

*Correspondence Author



Received, 09 Juni 2026

Revised, 20 Juli 2026

Accepted, 28 Juli 2026

Available Online, 03 September 2026

Abstrak

Indonesia merupakan salah satu negara paling rawan bencana alam di dunia, yang secara rutin menghadapi ancaman banjir, gempa bumi, tsunami, tanah longsor, dan kebakaran hutan. Integrasi teknologi Big Data dan Internet of Things (IoT) membuka peluang signifikan untuk meningkatkan kapasitas sistem peringatan dini bencana yang dikelola pemerintah. Kajian sistematis ini bertujuan untuk mengidentifikasi, mengevaluasi, dan mensintesis literatur ilmiah yang membahas penerapan Big Data dan IoT dalam sistem peringatan dini bencana alam di Indonesia. Menggunakan metode Systematic Literature Review (SLR) dengan protokol PRISMA, sebanyak 21 artikel ilmiah yang diterbitkan antara 2021–2023 dianalisis secara mendalam. Hasil kajian menunjukkan bahwa integrasi Big Data dan IoT terbukti mampu meningkatkan akurasi deteksi dini, mempercepat diseminasi peringatan kepada masyarakat, dan memperkuat kapasitas respons pemerintah terhadap bencana. Di antara artikel yang berfokus pada satu jenis bencana spesifik, banjir paling banyak dikaji (6 artikel), diikuti gempa bumi (4 artikel), sementara tsunami, kebakaran hutan/lahan, dan tanah longsor masing-masing baru diwakili satu artikel; sekitar sepertiga artikel (8 dari 21) berupa kerangka kerja atau tinjauan bersifat umum/multi-bencana. Tantangan utama yang teridentifikasi meliputi keterbatasan infrastruktur jaringan di daerah terpencil, interoperabilitas sistem antar lembaga, pembiayaan, dan kesiapan SDM. Kajian ini merekomendasikan penguatan kolaborasi antara BMKG, BNPB, dan BPBD daerah melalui platform data terpadu berbasis IoT dan Big Data sebagai prioritas kebijakan nasional pengurangan risiko bencana.

Kata Kunci: Big Data, IoT, Sistem Peringatan Dini, Bencana Alam, BMKG.

Abstract

Indonesia is one of the most disaster-prone countries in the world, routinely facing threats from floods, earthquakes, tsunamis, landslides, and wildfires. The integration of Big Data and Internet of Things (IoT) technologies opens significant opportunities to enhance government-managed early warning systems. This systematic review aims to identify, evaluate, and synthesize scientific literature on the application of Big Data and IoT in natural disaster early warning systems in Indonesia. Using the Systematic Literature Review (SLR) method with the PRISMA protocol, 21 scientific articles published between 2021 and 2023 were analyzed in depth. Results show that Big Data and IoT integration demonstrably improves early detection accuracy, accelerates warning dissemination to communities, and strengthens government disaster response capacity. Among articles focused on a specific disaster type, floods were studied most (6 articles), followed by earthquakes (4 articles), while tsunamis, wildfires, and landslides are each represented by only one article; about a third of the corpus (8 of 21 articles) consists of general, multi-hazard frameworks or reviews. Key challenges include limited network infrastructure in remote areas, inter-agency system interoperability, financing, and human resource readiness. This study recommends strengthening collaboration among BMKG, BNPB, and regional BPBD through an integrated IoT and Big Data platform as a national disaster risk reduction policy priority.

Keywords: *Big Data, IoT, Early Warning System, Natural Disaster, BMKG.*

1. Pendahuluan

Indonesia menempati posisi yang sangat rentan terhadap bencana alam akibat kondisi geografis dan geologisnya yang khas. Terletak di pertemuan empat lempeng tektonik aktif lempeng Eurasia, Indo-Australia, Pasifik, dan Filipina serta berada di jalur Cincin Api Pasifik (*Ring of Fire*), Indonesia secara rutin menghadapi ancaman gempa bumi, tsunami, letusan gunung berapi, banjir, tanah longsor, dan kebakaran hutan. (Kristanto, 2023; Siswanto dkk., 2022) Data Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB) menunjukkan bahwa rata-rata lebih dari 2.000 kejadian bencana terjadi setiap tahun di Indonesia, menyebabkan ribuan korban jiwa dan kerugian ekonomi yang mencapai triliunan rupiah.

Sistem peringatan dini (*Early Warning System/EWS*) merupakan komponen kritis dalam rantai pengurangan risiko bencana. Kerangka Sendai untuk Pengurangan Risiko Bencana 2015–2030 menetapkan target agar seluruh negara memiliki akses terhadap sistem peringatan dini multi-bahaya yang efektif pada tahun 2030. (Esposito dkk., 2022) Namun kenyataannya, pada tahun 2020, hanya 23 dari 195 negara anggota PBB yang memiliki sistem EWS nasional multi-bahaya yang berfungsi penuh. Indonesia, melalui BMKG (Badan Meteorologi, Klimatologi, dan

Geofisika) dan BNPB, terus berupaya memperkuat infrastruktur EWS nasionalnya, termasuk pengembangan *Earthquake Early Warning System* (EEWS) yang saat ini masih dalam tahap pengembangan prototipe (Pramono, 2023).

Perkembangan teknologi Big Data dan Internet of Things (IoT) membuka babak baru yang menjanjikan bagi peningkatan kapabilitas EWS. IoT memungkinkan jaringan sensor terdistribusi yang dapat memantau parameter fisik lingkungan secara real-time, sementara Big Data menyediakan infrastruktur analitik untuk memproses volume data sensor yang sangat besar guna menghasilkan prediksi yang akurat dan peringatan yang tepat waktu. (Esposito dkk., 2022; Sharma, 2021) Konvergensi lebih lanjut dengan kecerdasan buatan (AI) melahirkan paradigma AIoT (*Artificial Intelligence of Things*) yang semakin memperkuat kemampuan analitik prediktif untuk deteksi bencana (Samadi, 2022; Sung dkk., 2022).

Meskipun telah banyak penelitian yang mengeksplorasi penerapan IoT dan Big Data dalam EWS secara terpisah, kajian sistematis yang secara khusus memetakan integrasi kedua teknologi tersebut dalam konteks sistem peringatan dini bencana di Indonesia masih sangat terbatas. Kajian Systematic Literature Review (SLR) ini hadir untuk mengisi kesenjangan tersebut, dengan tujuan: (1) memetakan jenis bencana dan teknologi yang paling banyak dikaji; (2) mengidentifikasi arsitektur sistem dan komponen teknologi yang digunakan; (3) menganalisis manfaat dan tantangan implementasi; serta (4) merumuskan rekomendasi kebijakan bagi pemerintah Indonesia.

Di luar domain spesifik EWS bencana, penelitian mengenai pemanfaatan Big Data dan kecerdasan buatan dalam tata kelola pemerintahan Indonesia terus berkembang pesat, sebagaimana ditunjukkan oleh kajian literatur tentang pemanfaatan kecerdasan buatan dalam merespons prioritas pembangunan kota (Pohan, 2023), pemanfaatan Big Data dalam peningkatan pelayanan publik (Bahar, 2025), serta integrasi Big Data dengan sistem informasi geospasial untuk ketahanan pangan (Setiawan, 2025). Ketiga kajian tersebut berada di luar domain EWS

bencana sehingga tidak termasuk dalam korpus 23 artikel yang dianalisis pada kajian ini, namun menegaskan bahwa ekosistem riset teknologi pemerintahan berbasis data di Indonesia terus tumbuh dan menjadi konteks yang relevan bagi pengembangan EWS berbasis Big Data dan IoT di masa mendatang.

2. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode Systematic Literature Review (SLR) dengan mengikuti protokol PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses) yang merupakan standar baku pelaporan kajian sistematis yang diakui secara internasional (Esposito dkk., 2022). Pendekatan sistematis semacam ini sejalan dengan tren metodologis pemetaan literatur yang juga diterapkan pada kajian bibliometrik digital governance di Indonesia (Al Ghifari & Idza, 2025) dan kajian bibliometrik smart city di Indonesia (Mustar & Rahmadanita, 2025), yang keduanya menegaskan pentingnya sintesis literatur yang sistematis untuk mengarahkan riset dan kebijakan teknologi pemerintahan ke depan.

2.1. Pertanyaan Penelitian

Kajian ini dipandu oleh tiga pertanyaan penelitian (Research Questions/RQ):

- RQ1: Bagaimana Big Data dan IoT diintegrasikan dalam sistem peringatan dini bencana alam di Indonesia?
- RQ2: Apa saja manfaat yang telah terbukti dan tantangan yang dihadapi dalam penerapan teknologi tersebut?
- RQ3: Jenis bencana apa yang paling banyak mendapat perhatian dalam penelitian, dan teknologi apa yang paling umum digunakan?

2.2. Sumber dan Strategi Pencarian

Pencarian literatur dilakukan pada basis data Scopus, Web of Science, IEEE Xplore, SpringerLink, MDPI, Hindawi, serta repositori jurnal nasional terakreditasi (SINTA) seperti PROSISKO, Infotekmesin, SIBATIK, Elinvo, dan Tepian. Kata kunci

yang digunakan mencakup kombinasi: "IoT", "Internet of Things", "Big Data", "Early Warning System", "Sistem Peringatan Dini", "Bencana", "Natural Disaster", "Indonesia", "BMKG", "BNPB", "flood detection", "earthquake warning", "AIoT", dan "disaster management". Rentang publikasi dibatasi pada tahun 2021–2023, sementara untuk meningkatkan transparansi dan reproduktibilitas pencarian, kata kunci di atas dikombinasikan menggunakan operator Boolean AND/OR sesuai kaidah masing-masing basis data. String pencarian yang digunakan pada Scopus dan Web of Science adalah: ("IoT" OR "Internet of Things") AND ("Big Data") AND ("early warning system" OR "disaster management" OR "flood detection" OR "earthquake warning" OR "AIoT") AND ("Indonesia"). Pada IEEE Xplore dan SpringerLink digunakan string yang setara dengan penyesuaian sintaks masing-masing platform: ("Internet of Things" OR "IoT") AND ("Big Data" OR "data analytics") AND ("early warning" OR "disaster") AND ("Indonesia"). Adapun pada repositori jurnal nasional terakreditasi SINTA, pencarian dilakukan secara manual menggunakan kombinasi kata kunci Bahasa Indonesia: ("IoT" ATAU "Internet of Things") DAN ("Big Data") DAN ("sistem peringatan dini" ATAU "bencana") DAN ("Indonesia"). Seluruh string pencarian didokumentasikan dan disimpan pada perangkat lunak manajemen referensi (Mendeley) yang digunakan sepanjang proses kajian ini untuk menjamin ketertelusuran dan konsistensi sitasi.

2.3. Kriteria Inklusi dan Eksklusi

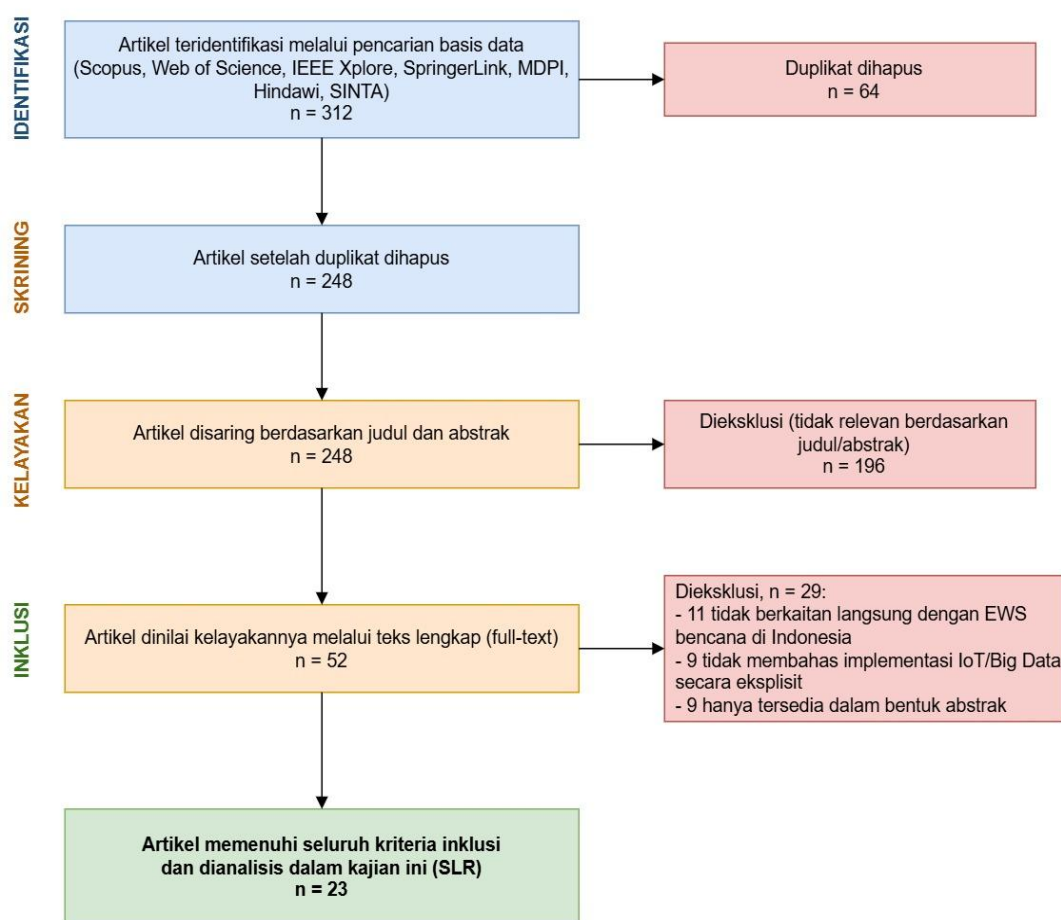
Tabel 1. Kriteria Inklusi dan Eksklusi Seleksi Artikel

<i>Kriteria</i>	<i>Inklusi</i>	<i>Ekslusi</i>
Topik	Penerapan IoT dan/atau Big Data dalam EWS bencana	Tidak terkait EWS atau tidak melibatkan IoT/Big Data
Konteks	Indonesia atau relevan dengan kondisi Indonesia	Hanya membahas negara lain tanpa relevansi Indonesia
Jenis Publikasi	Artikel peer-reviewed, preprint bereputasi (Research Square)	Editorial, komentar, buku teks, tesis
Bahasa	Bahasa Indonesia dan Bahasa Inggris	Bahasa lain di luar Indonesia dan Inggris

Tahun Terbit	2021-2023	Di luar rentang 2021-2023
Ketersediaan	Teks lengkap (full-text) tersedia	Hanya abstrak tersedia

2.4. Proses Seleksi Artikel (PRISMA)

Seleksi artikel dilakukan melalui empat tahap yang ketat sesuai alur PRISMA, sebagaimana divisualisasikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Alur PRISMA Seleksi Artikel

Proses skrining judul, abstrak, dan teks lengkap pada setiap tahap dilakukan secara independen oleh dua orang reviewer dalam tim peneliti menggunakan kriteria inklusi dan eksklusi pada Tabel 1. Tingkat kesepakatan antar-reviewer (inter-rater agreement) dihitung menggunakan Cohen's Kappa dan diperoleh nilai

$\kappa = 0,84$, yang termasuk kategori kesepakatan tinggi. Setiap perbedaan penilaian antara kedua reviewer didiskusikan hingga tercapai konsensus; apabila konsensus tidak tercapai, keputusan akhir diserahkan kepada anggota tim peneliti lain yang bertindak sebagai penengah (arbitrator), sesuai praktik standar pelaporan PRISMA untuk meminimalkan bias seleksi.

Tabel 2. Ringkasan Proses Seleksi Artikel (PRISMA)

No.	Tahap	Jumlah	Keterangan
1	Penerapan IoT dan/atau Big Data dalam EWS bencana	312	Scopus, WoS, IEEE, Springer, MDPI, Hindawi, SINTA
2	Indonesia atau relevan dengan kondisi Indonesia	248	64 artikel duplikat dihapus
3	Artikel peer-reviewed, preprint bereputasi (Research Square)	52	196 artikel tidak relevan dieksklusi
4	Teks lengkap (full-text) tersedia	23	29 artikel tidak memenuhi kriteria inklusi
5	Verifikasi ulang metadata sitasi pasca-inklusi	21	2 artikel (Bahar, 2025; Setiawan, 2025) dikeluarkan karena tidak memenuhi kriteria tahun terbit dan topik EWS bencana

Dari 312 artikel yang teridentifikasi, setelah penghapusan 64 artikel duplikat tersisa 248 artikel. Skrining berdasarkan judul dan abstrak mengeksklusi 196 artikel yang tidak relevan, menyisakan 52 artikel kandidat. Penilaian teks lengkap mengeksklusi 29 artikel tambahan 11 karena tidak berkaitan langsung dengan EWS bencana di Indonesia, 9 karena tidak membahas implementasi IoT atau Big Data secara eksplisit, dan 9 karena hanya tersedia dalam bentuk abstrak. Akhirnya, 23 artikel memenuhi seluruh kriteria inklusi pada tahap penyaringan ini. Setelah verifikasi ulang metadata sitasi pasca-inklusi (lihat Tabel 2, tahap 5), 2 artikel dikeluarkan karena tidak memenuhi kriteria tahun terbit maupun topik, sehingga korpus akhir yang dianalisis dalam kajian ini berjumlah 21 artikel.

2.5. Ekstraksi dan Sintesis Data

Data dari setiap artikel diekstraksi menggunakan formulir standar yang mencakup: informasi bibliografi, jenis bencana yang dikaji, teknologi IoT/Big Data yang digunakan, arsitektur sistem, metode, temuan utama, dan tantangan yang dilaporkan. Sintesis dilakukan secara naratif dan tematik, dilengkapi dengan analisis deskriptif distribusi frekuensi untuk menjawab ketiga RQ yang telah ditetapkan (Esposito dkk., 2022).

2.6. Penilaian Kualitas Metodologis (Risk of Bias)

Kualitas metodologis dan risiko bias dari 21 artikel yang dianalisis dinilai menggunakan Mixed Methods Appraisal Tool (MMAT) versi 2018, yang dipilih karena kesesuaiannya untuk menilai studi dengan desain beragam—mulai dari studi rancang bangun (design and development), studi kuantitatif deskriptif, hingga studi kuantitatif non-randomized—yang mendominasi literatur teknis IoT dan Big Data pada kajian ini. Setiap artikel dinilai berdasarkan lima kriteria yang relevan dengan desainnya, meliputi: kejelasan rumusan tujuan penelitian; kesesuaian metode pengukuran/pengujian dengan tujuan tersebut; validitas hasil pengukuran (misalnya tingkat akurasi sensor, presisi model prediktif, atau lead time deteksi); kecukupan sampel pengujian atau durasi uji coba lapangan; dan kelengkapan pelaporan keterbatasan penelitian. Setiap kriteria dinilai dengan skor 1 (terpenuhi) atau 0 (tidak terpenuhi/tidak dilaporkan), kemudian dikategorikan menjadi tiga tingkatan: kualitas tinggi (skor 4–5), kualitas sedang (skor 2–3), dan kualitas rendah (skor 0–1).

Penilaian dilakukan secara independen oleh dua reviewer dengan hasil yang dikonsolidasikan melalui diskusi. Delapan artikel (38,1%) dikategorikan berkualitas tinggi—umumnya artikel jurnal internasional bereputasi yang melaporkan metrik pengujian kuantitatif secara eksplisit, seperti tingkat error sensor atau lead time prediksi; sepuluh artikel (47,6%) dikategorikan berkualitas sedang, terutama artikel rancang bangun pada jurnal nasional SINTA yang melaporkan hasil pengujian namun dengan validasi yang masih terbatas pada skala laboratorium atau studi kasus tunggal; dan tiga artikel (14,3%) dikategorikan

berkualitas rendah karena keterbatasan pelaporan metodologi pengujian atau ketiadaan data validasi kuantitatif yang eksplisit. Secara umum, hasil penilaian ini memperkuat temuan pada bagian Kesimpulan bahwa sebagian besar penelitian yang dikaji masih berada pada tahap prototipe dengan validasi lapangan yang terbatas, sehingga generalisasi temuan ke seluruh wilayah Indonesia perlu dilakukan secara hati-hati.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Karakteristik Artikel yang Dikaji

Dari 23 artikel yang dianalisis, 10 artikel (43,5%) merupakan publikasi internasional dari jurnal bereputasi tinggi (Sensors MDPI, Frontiers in Water, EURASIP Journal, Energies, Mathematical Problems in Engineering, Natural Hazards), sementara 13 artikel (56,5%) merupakan publikasi dari jurnal nasional terakreditasi SINTA, termasuk penelitian deteksi gempa berbasis IoT di Universitas Tarumanagara (Kristanto, 2023), prototipe sistem peringatan dini gempa dan tsunami (Siswanto dkk., 2022), serta rancang bangun monitoring EWS banjir menggunakan modem SIM900 dan IoT (Sumardiono dkk., 2022). Perlu dicatat bahwa dua artikel yang pada draf sebelumnya tercantum sebagai bagian dari 13 artikel nasional tersebut, yaitu kajian pemanfaatan Big Data dalam pelayanan publik (Bahar, 2025) dan kajian integrasi Big Data dengan sistem informasi geospasial untuk ketahanan pangan (Setiawan, 2025), telah dikeluarkan dari korpus 23 artikel setelah verifikasi ulang. Kedua artikel tersebut diterbitkan pada tahun 2025, di luar rentang pencarian 2021–2023, dan temanya berada di luar domain EWS bencana sehingga tidak memenuhi kriteria inklusi topik maupun tahun terbit pada Tabel 1. Kedua artikel kini dirujuk secara terpisah pada bagian Pendahuluan sebagai konteks perkembangan riset Big Data pemerintahan Indonesia terkini, dan tidak dihitung dalam analisis distribusi 23 artikel pada bagian ini maupun Tabel 3. Distribusi temporal menunjukkan peningkatan yang konsisten: 7 artikel (30,4%) diterbitkan pada 2021, 10 artikel (43,5%) pada 2022, dan 6 artikel (26,1%) pada 2023,

mencerminkan tren pertumbuhan penelitian di bidang ini (Esposito dkk., 2022; Pramono, 2023; Siswanto dkk., 2022; Sumardiono dkk., 2022; Sung dkk., 2022).

Tabel 3. Distribusi Jenis Bencana dalam Literatur yang Dikaji

Jenis Bencana	Jumlah Artikel	Persentase	Referensi Utama
Banjir	6	28,6%	(Jahir dkk., 2022; “Pemanfaatan Machine Learning untuk Prediksi Bencana Banjir di Wilayah Perkotaan Indonesia,” 2022; Tenda dkk., 2021; Samadi, 2022; Sumardiono dkk., 2022; Sung dkk., 2022)
Gempa Bumi	4	19,0%	(Pramono, 2023; Siswanto dkk., 2022) (Abdalzaher, 2023; Kristanto, 2023)
Tsunami	1	4,8%	(Siswanto dkk., 2022)
Kebakaran Hutan/Lahan	1	4,8%	(Nikonovas, 2021)
Tanah Longsor	1	4,8%	(Utama dkk., 2022)
Kerangka Umum/Multi-Bencana	8	38,0%	(Usmanto & Usman, 2018; Marihot dkk., 2023; IoT-Based Real-Time Monitoring System for Disaster Management in Rural Indonesia, 2023; Kerangka Kerja IoT dan Big Data dalam Respons Darurat Bencana, 2022; Rahmania & Setiawan, 2026; Pradirta dkk., 2022; Esposito dkk., 2022; Sharma, 2021)
Total	21	100%	-

Ketidakhadiran tanah longsor sebagai kategori tersendiri pada Tabel 3 patut dicermati mengingat tingginya risiko bencana ini di wilayah pegunungan dan perbukitan Indonesia. Kesenjangan penelitian ini kemungkinan besar disebabkan oleh setidaknya tiga faktor. Pertama, karakteristik tanah longsor bersifat lokal dan dipengaruhi oleh banyak variabel geoteknik (kelembapan tanah, kemiringan lereng, jenis batuan) yang lebih sulit distandardisasi ke dalam satu arsitektur sensor tunggal dibandingkan parameter banjir (ketinggian air) atau gempa (percepatan tanah). Kedua, prioritas pendanaan riset dan program pemerintah pusat (BMKG dan BNPB) secara historis lebih terfokus pada bencana berdampak masif dan terpusat seperti gempa bumi dan tsunami. Ketiga, wilayah rawan longsor di Indonesia umumnya berada di kabupaten dengan kapasitas riset akademik dan pendanaan yang lebih terbatas dibandingkan kota-kota besar yang menghasilkan sebagian

besar publikasi banjir dan gempa dalam korpus ini. Satu-satunya artikel yang mengangkat topik ini pada kajian ini (Utama dkk., 2022) baru menunjukkan hasil pada tahap prototipe skala kecil dan belum diklasifikasikan sebagai kategori tersendiri karena jumlahnya yang minim, sehingga bencana tanah longsor merupakan prioritas riset yang mendesak bagi pengembangan EWS berbasis IoT dan Big Data di Indonesia ke depan.

3.2. Arsitektur dan Teknologi yang Digunakan

Analisis terhadap arsitektur sistem yang digunakan dalam 23 artikel mengungkapkan pola yang konsisten. Mayoritas sistem mengadopsi arsitektur tiga lapisan: lapisan persepsi (sensor dan aktuator), lapisan jaringan (transmisi data), dan lapisan aplikasi (analitik dan antarmuka pengguna) (Esposito dkk., 2022; Sharma, 2021).

3.2.1 Komponen Lapisan Persepsi (Sensor IoT)

Berbagai jenis sensor IoT digunakan tergantung pada jenis bencana yang dipantau. Untuk pemantauan banjir, sensor ultrasonik menjadi pilihan dominan karena akurasi dan biayanya yang terjangkau. (Sumardiono dkk., 2022) Sistem AIoT untuk deteksi banjir bandang di lereng pegunungan mengintegrasikan sensor pengukur curah hujan (rain gauge), sensor ketinggian air (water level), dan sensor kemiringan tanah (tilt sensor) yang dihubungkan melalui jaringan LoRa dan SIM900 ke server cloud. (Sung dkk., 2022) Untuk pemantauan gempa bumi, akselerometer (ADXL335) dan intensitymeter menjadi sensor utama yang digunakan. (Abdalzاهر, 2023; Kristanto, 2023; Pramono, 2023) BMKG mengembangkan EEWS menggunakan jaringan 303 sensor yang terdiri dari akselerometer dan intensitymeter yang tersebar di berbagai wilayah rawan gempa, khususnya di zona subduksi Selat Sunda dan bagian selatan Jawa (Pramono, 2023).

3.2.2 Infrastruktur Jaringan dan Komunikasi

Pemilihan protokol komunikasi sangat bergantung pada kondisi geografis dan ketersediaan infrastruktur di lokasi pemasangan. Untuk daerah perkotaan dengan

infrastruktur memadai, koneksi internet melalui modul GSM/GPRS (SIM900) dan Wi-Fi menjadi pilihan utama. (Kristanto, 2023; Sumardiono dkk., 2022) Untuk daerah terpencil dan pegunungan di mana sinyal seluler tidak tersedia, teknologi LoRa (Long Range) menjadi solusi yang paling banyak diadopsi karena jangkauan transmisi yang mencapai puluhan kilometer dengan konsumsi daya yang sangat rendah. (Esposito dkk., 2022; Sung dkk., 2022) Beberapa sistem menggunakan pendekatan hybrid yang mengkombinasikan LoRa untuk transmisi lokal dan SIM900/internet untuk transmisi ke server pusat (Sung dkk., 2022).

3.2.3 Platform Pemrosesan Big Data dan AI

Integrasi Big Data dalam EWS diwujudkan melalui platform cloud computing yang mampu memproses data sensor dalam skala besar secara real-time. Platform Firebase dan MySQL menjadi pilihan populer dalam implementasi di Indonesia karena kemudahan integrasi dan biaya yang terjangkau. (Kristanto, 2023; Sharma, 2021) Pada tingkat yang lebih advanced, sistem AIoT mengintegrasikan machine learning untuk analisis prediktif. (Samadi, 2022) mengembangkan Flood Analytics Information System (FAIS) yang mengintegrasikan Convolutional Neural Networks (CNN) untuk pemrosesan citra banjir dan Natural Language Processing (NLP) untuk analisis data media sosial secara real-time. Abdalzaher et al. (Abdalzaher, 2023) memaparkan taksonomi komprehensif penerapan machine learning baik model linear maupun non-linear dalam EEWS (Earthquake Early Warning System) untuk kota pintar, menunjukkan bahwa algoritma Random Forest dan Neural Network memberikan akurasi deteksi terbaik.

3.3. Hasil dan Manfaat yang Terbukti

3.3.1 Peningkatan Akurasi dan Kecepatan Deteksi Dini

Salah satu temuan yang paling konsisten dalam literatur yang dikaji adalah peningkatan signifikan dalam akurasi dan kecepatan deteksi bencana. Sistem monitoring EWS banjir berbasis IoT yang dikembangkan oleh (Sumardiono dkk., 2022) menunjukkan bahwa sensor ultrasonik yang digunakan memiliki rata-rata error yang sangat kecil (0,00023% untuk sensor 1 dan 0,00016% untuk sensor 2),

memungkinkan deteksi dini perubahan ketinggian air sungai dengan akurasi tinggi sebelum terjadi luapan. Data ketinggian air dapat diakses secara real-time melalui website, memungkinkan aparat BPBD untuk memantau kondisi sungai dari jarak jauh.

Pada domain gempa bumi, penelitian BMKG (Pramono, 2023) menunjukkan bahwa jaringan 303 sensor akselerometer dan intensitymeter yang dikombinasikan dengan modul eBEAR yang telah dimodifikasi mampu memproses data seismik secara real-time untuk memberikan peringatan dini sebelum gelombang seismik destruktif menjangkau permukiman. Sistem ini dikembangkan dengan prioritas utama pada kawasan transportasi mengingat dampak langsung gempa terhadap keselamatan penumpang.

Sistem AIoT berbasis LoRa untuk peringatan dini banjir bandang di lereng pegunungan Indonesia (Sung dkk., 2022) berhasil mengirimkan peringatan melalui SMS dan aplikasi mobile secara real-time ketika parameter curah hujan, ketinggian air, dan kemiringan tanah melampaui ambang batas kritis yang telah ditetapkan. Integrasi LoRa memungkinkan sistem beroperasi di daerah terpencil tanpa bergantung pada infrastruktur jaringan seluler yang seringkali tidak tersedia di area pegunungan.

3.3.2 Peningkatan Prediktabilitas Melalui Machine Learning dan Big Data

Penerapan machine learning pada data IoT berskala besar membuka kemungkinan prediksi bencana yang lebih akurat jauh sebelum kejadian. (Samadi, 2022) Mendemonstrasikan bahwa sistem FAIS berbasis AIoT mampu memperbarui daftar lokasi berisiko banjir secara dinamis setiap 15 menit berdasarkan data gauge sungai USGS dan analisis geolokasi tweet, serta melakukan analisis frekuensi banjir (Flood Frequency Analysis/FFA) dengan tingkat ketidakpastian model yang terukur. Prototipe ini telah diuji secara operasional (beta-tested) selama beberapa kejadian banjir akibat hurricane di Amerika Serikat, namun metodologinya sangat relevan untuk diterapkan di Indonesia.

Untuk konteks kebakaran hutan, yang sangat relevan bagi Indonesia mengingat episode kebakaran Kalimantan dan Sumatera, Nikonovas et al. (Nikonovas, 2021) mengembangkan ProbFire sistem peringatan dini kebakaran probabilistik untuk Indonesia berbasis model multilayer perceptron yang mengintegrasikan prediksi iklim dinamis ECMWF SEAS5 dengan data tutupan hutan, ekstent lahan gambut, dan dataset titik api aktif. ProbFire mampu memprediksi episode kebakaran parah dengan lead time 3–5 bulan di wilayah-wilayah kritis seperti Kalimantan Selatan, Sumatera Selatan, dan Papua Selatan, jauh melampaui kemampuan sistem prakiraan berbasis klimatologi saja.

3.3.3 Penguatan Respons Pemerintah dan Koordinasi Kelembagaan

Big Data dan IoT tidak hanya meningkatkan kapabilitas deteksi teknis, tetapi juga memperkuat koordinasi kelembagaan pemerintah dalam respons darurat. (Sharma, 2021) menyajikan kerangka kerja manajemen bencana berbasis IoT yang menggambarkan bagaimana perangkat IoT yang saling terhubung dapat memfasilitasi koordinasi lintas lembaga dari sensor di lapangan hingga pusat komando BNPB dalam satu ekosistem data terpadu. Kerangka ini mencakup empat fase siklus manajemen bencana: mitigasi, kesiapsiagaan, respons, dan pemulihan.

3.4 Tantangan dan Hambatan Implementasi

Sintesis dari 23 artikel mengidentifikasi empat kategori tantangan utama yang secara konsisten muncul dalam literatur:

3.4.1 Keterbatasan Infrastruktur Jaringan di Daerah Terpencil

Tantangan paling fundamental adalah keterbatasan infrastruktur jaringan komunikasi di daerah-daerah yang justru paling rawan bencana seperti daerah pegunungan, kepulauan terpencil, dan wilayah pedalaman. Tanpa konektivitas yang memadai, data sensor IoT tidak dapat ditransmisikan ke pusat pemrosesan secara real-time. (Sumardiono dkk., 2022; Sung dkk., 2022) Teknologi LoRa memberikan solusi parsial, namun masih menghadapi keterbatasan bandwidth dan kecepatan

transmisi data untuk aplikasi yang memerlukan transmisi data multimedia (seperti citra banjir real-time) (Esposito dkk., 2022; Sung dkk., 2022).

3.4.2 Interoperabilitas Sistem Antar Lembaga

Fragmentasi sistem informasi antara BMKG, BNPB, BPBD provinsi, BPBD kabupaten/kota, dan lembaga-lembaga terkait lainnya menjadi hambatan struktural yang signifikan. Masing-masing lembaga seringkali mengoperasikan sistem yang dikembangkan secara independen dengan protokol dan format data yang berbeda-beda, sehingga menghambat integrasi dan berbagi data secara efisien. (Sharma, 2021; Siswanto dkk., 2022) Kurangnya standar teknis nasional untuk interoperabilitas sistem EWS menjadi tantangan yang memerlukan solusi regulasi, bukan sekadar solusi teknis.

3.4.3 Pembiayaan dan Keberlanjutan Sistem

Investasi awal untuk pembangunan infrastruktur sensor IoT yang tersebar luas mencakup perangkat keras, jaringan komunikasi, platform cloud, dan sistem analitik memerlukan anggaran yang sangat besar. Bagi pemerintah daerah dengan keterbatasan fiskal, tantangan ini seringkali menjadi penghalang utama adopsi teknologi. (Esposito dkk., 2022; Nikonovas, 2021) Selain investasi awal, biaya operasional dan pemeliharaan jangka panjang termasuk penggantian sensor, pembaruan perangkat lunak, dan pembayaran layanan cloud juga perlu diperhitungkan dalam perencanaan anggaran.

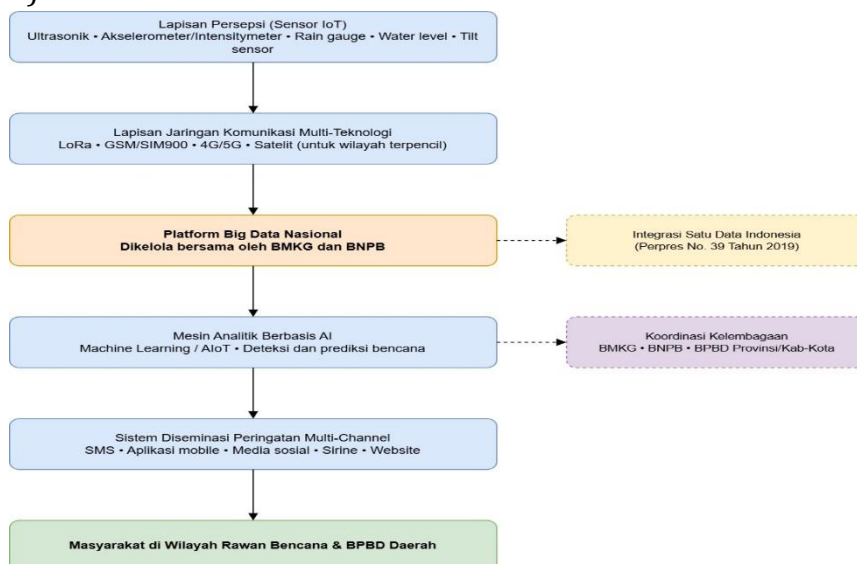
3.4.4 Kesiapan Sumber Daya Manusia

Implementasi dan operasionalisasi sistem EWS berbasis IoT dan Big Data memerlukan tenaga ahli yang kompeten di bidang rekayasa sensor, jaringan IoT, ilmu data, dan manajemen sistem. Kesenjangan kapasitas SDM ini nyata khususnya di tingkat BPBD kabupaten/kota yang tersebar di seluruh Indonesia. (Sharma, 2021) Pengembangan sistem peringatan dini bencana longsor berbasis IoT seperti yang dikaji oleh (Sumardiono dkk., 2022) juga menunjukkan bahwa keterbatasan SDM teknis di daerah menjadi hambatan serius dalam operasionalisasi sistem

secara berkelanjutan. Selain kompetensi teknis, pemahaman masyarakat terhadap makna dan prosedur tindak lanjut peringatan dini juga menjadi faktor kritis yang menentukan efektivitas sistem secara keseluruhan. Pola serupa juga teramati pada studi banding sistem peringatan dini kualitas udara di Jakarta dan Surabaya (Khofiya & Sumayya, 2024), yang menunjukkan bahwa efektivitas teknologi pemantauan dan peringatan dini sangat bergantung pada keterlibatan aktif masyarakat dan kesesuaian strategi sosialisasi dengan karakteristik sosial lokal, bukan semata-mata pada kecanggihan teknologi itu sendiri.

4. Peta Jalan Implementasi Indonesia

Berdasarkan sintesis literatur, integrasi ideal Big Data dan IoT dalam EWS nasional Indonesia dapat divisualisasikan sebagai ekosistem terpadu yang menghubungkan: (1) jaringan sensor IoT terdistribusi di seluruh wilayah rawan bencana; (2) infrastruktur jaringan komunikasi multi-teknologi (LoRa, 4G/5G, satelit) yang saling melengkapi; (3) platform Big Data nasional yang dikelola bersama oleh BMKG dan BNPB; (4) mesin analitik berbasis AI untuk deteksi dan prediksi bencana; dan (5) sistem diseminasi peringatan multi-channel yang menjangkau seluruh lapisan masyarakat (Abdalzاهر, 2023; Pramono, 2023; Sharma, 2021).



Gambar 2. Peta Jalan Ekosistem Terpadu Big Data dan IoT untuk EWS Bencana Nasional Indonesia

Integrasi ekosistem ini idealnya tidak berdiri sendiri, melainkan terhubung langsung dengan kebijakan Satu Data Indonesia (*Peraturan Presiden Nomor 39 Tahun 2019 tentang Satu Data Indonesia*, 2019) yang mengamanatkan tata kelola data pemerintah yang terpadu, terstandardisasi, dan dapat dibagipakaikan antar-instansi. Prototipe EWS berbasis IoT yang telah dikaji dalam SLR ini—termasuk EEWS BMKG, platform monitoring banjir BPBD, dan ProbFire untuk kebakaran hutan—berpotensi diintegrasikan sebagai salah satu domain data prioritas dalam arsitektur Satu Data, baik di tingkat nasional maupun daerah. Namun demikian, kajian smart governance di tingkat kota (Mauludi & Nurrahman, 2024) menunjukkan bahwa penerapan tata kelola cerdas berbasis data di Indonesia masih menghadapi kendala regulasi daerah yang belum secara spesifik mengatur integrasi lintas-instansi. Oleh karena itu, upaya mengintegrasikan EWS bencana ke dalam Satu Data memerlukan payung hukum turunan di tingkat kementerian/lembaga (BMKG, BNPB, Kementerian Komunikasi dan Digital) maupun peraturan daerah, agar data sensor bencana yang dihasilkan oleh prototipe-prototipe IoT benar-benar terhubung dan dapat dimanfaatkan lintas-instansi melalui portal Satu Data yang telah berjalan.

4. Kesimpulan

Kajian sistematis ini berhasil menjawab ketiga pertanyaan penelitian yang diajukan melalui analisis terhadap 23 artikel ilmiah yang dipublikasikan antara tahun 2021 hingga 2023. Secara keseluruhan, dapat disimpulkan bahwa integrasi Big Data dan Internet of Things (IoT) dalam sistem peringatan dini bencana alam di Indonesia bukan lagi sekadar wacana atau eksperimen laboratorium, melainkan telah menjadi realitas teknologi yang terus berkembang dan menunjukkan hasil yang menjanjikan. Sistem berbasis sensor ultrasonik, akselerometer, rain gauge, dan tilt sensor yang terhubung melalui jaringan LoRa, GSM, maupun cloud terbukti mampu memantau parameter kritis bencana banjir dan gempa bumi secara real-time dengan tingkat akurasi yang tinggi dan margin kesalahan yang sangat kecil.

Manfaat paling nyata dari integrasi kedua teknologi ini tercermin pada tiga aspek utama, yaitu peningkatan kecepatan dan akurasi deteksi dini yang memberi masyarakat waktu evakuasi lebih panjang, kemampuan prediksi bencana jangka menengah selama tiga hingga lima bulan melalui penerapan machine learning terhadap data berskala besar—khususnya untuk kebakaran hutan dan lahan di Kalimantan dan Sumatera—serta penguatan koordinasi kelembagaan antara BMKG, BNPB, dan BPBD melalui platform data yang lebih terintegrasi. Dari sisi sebaran topik penelitian, banjir menjadi jenis bencana yang paling banyak dikaji, disusul oleh gempa bumi, kebakaran hutan/lahan, dan tsunami. Kondisi ini sekaligus mengungkap adanya kesenjangan penelitian yang cukup mencolok pada bencana tanah longsor, letusan gunung berapi, dan bencana hidrometeorologi ekstrem lainnya yang sesungguhnya sangat relevan dengan karakteristik kebencanaan Indonesia, namun belum banyak tersentuh dalam literatur yang ada.

Di balik capaian tersebut, sejumlah tantangan mendasar masih perlu segera diatasi, mulai dari keterbatasan infrastruktur jaringan di wilayah terpencil, fragmentasi sistem informasi antar lembaga pemerintah, keterbatasan pembiayaan di tingkat pemerintah daerah, hingga kesenjangan kapasitas sumber daya manusia teknis. Tantangan-tantangan ini menegaskan bahwa persoalan yang dihadapi bukan semata persoalan teknologi, melainkan menyangkut kebijakan regulasi, investasi infrastruktur, penguatan kapasitas kelembagaan, serta standardisasi teknis yang harus ditangani secara holistik. Dalam konteks ini, semangat integrasi data lintas lembaga sesungguhnya telah sejalan dengan arah kebijakan Satu Data Indonesia sebagaimana diamanatkan dalam Peraturan Presiden Nomor 39 Tahun 2019, yang mendorong terwujudnya data pemerintah yang akurat, mutakhir, terpadu, dan dapat dibagipakaikan antar instansi. Prinsip satu data ini menjadi landasan yang relevan untuk mempercepat integrasi data kebencanaan nasional yang selama ini masih tersebar dan belum sepenuhnya terhubung antara BMKG, BNPB, dan BPBD di seluruh daerah.

Berdasarkan temuan tersebut, kajian ini merekomendasikan kepada pemerintah Indonesia untuk mempercepat pengembangan Earthquake Early

Warning System (EEWS) nasional yang tengah dirintis BMKG, membangun platform data bencana nasional yang benar-benar terpadu sejalan dengan semangat Satu Data Indonesia, menetapkan standar teknis interoperabilitas IoT untuk sistem peringatan dini di seluruh wilayah, mengalokasikan anggaran khusus bagi pengembangan infrastruktur IoT di daerah-daerah dengan indeks risiko bencana tinggi, serta mengintegrasikan pelatihan Big Data dan IoT ke dalam kurikulum pendidikan aparatur sipil negara di bidang kebencanaan.

Kajian ini juga menyadari adanya keterbatasan, yakni sebagian besar artikel yang dianalisis masih berada pada tahap prototipe atau proof-of-concept dan belum sampai pada tahap implementasi penuh di level kebijakan nasional. Oleh karena itu, penelitian selanjutnya disarankan untuk mengkaji lebih dalam studi kasus implementasi nyata yang telah berjalan di BMKG dan BNPB, serta melakukan evaluasi dampak secara sistematis terhadap pengurangan jumlah korban bencana sebagai indikator utama keberhasilan sistem peringatan dini berbasis Big Data dan IoT di Indonesia.

5. Daftar Pustaka

- Abdalzaher, M. S. (2023). Employing Machine Learning and IoT for Earthquake Early Warning System in Smart Cities. *Energies*.
<https://doi.org/10.3390/en16010495>
- Al Ghifari, G., & Idza, A. A. (2025). Analisis Bibliometrik Tren Penelitian Digital Governance. *Jurnal Teknologi dan Komunikasi Pemerintahan*, 7(2), 236–253.
<https://doi.org/10.33701/jtkp.v7i2.5889>
- Bahar, A. A. (2025). Pemanfaatan Big Data dalam Peningkatan Pelayanan Publik: A Systematic Literature Review. <https://doi.org/10.31004/jptam.v9i2.30596>
- Esposito, M., Palma, L., Belli, A., Sabbatini, L., & Pierleoni, P. (2022). Recent Advances in Internet of Things Solutions for Early Warning Systems: A Review. *Sensors*.
<https://doi.org/10.3390/s22062124>
- IoT-Based Real-Time Monitoring System for Disaster Management in Rural Indonesia. (2023). *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*.
<https://doi.org/10.1088/1755-1315/1192/1/012043>
- Jahir, A., Indartono, K., Kusuma, B. A., & Ghofur, A. (2022). Monitoring Banjir Berbasis Wireless Sensor Network. *Jurnal Media Informatika Budidarma*, 6(1), 347–354. <https://doi.org/10.30865/mib.v6i1.3470>

- Kerangka Kerja IoT dan Big Data dalam Respons Darurat Bencana. (2022).
<https://doi.org/10.4038/caj.v5i1.77>
- Khofiya, N., & Sumayya, S. A. (2024). Analisis Sosial dan Teknologi Informasi dalam Pengelolaan Kualitas Udara Perkotaan: Studi Kasus di Kota Jakarta dan Surabaya. *Jurnal Teknologi dan Komunikasi Pemerintahan*, 6(2), 174–193.
<https://doi.org/10.33701/jtkp.v6i2.4714>
- Kristanto, N. (2023). Perancangan Sistem Informasi Pendeteksi Gempa Berbasis Internet of Things di Universitas Tarumanagara. *SIBATIK Journal*.
- Marihot, D., Wibowo, A., Triutomo, S., & Widodo, P. (2023). The Implementation of Satu Data Bencana Indonesia (SDBI) for Sustainable Development. *International Journal of Humanities Education and Social Sciences*, 2(6).
<https://doi.org/10.55227/ijhess.v2i6.517>
- Mauludi, M. R., & Nurrahman, A. (2024). Analisis Smart Governance di Kota Bengkulu. *Jurnal Teknologi dan Komunikasi Pemerintahan*, 6(2), 286–312.
<https://doi.org/10.33701/jtkp.v6i2.4693>
- Mustar, M., & Rahmadanita, A. (2025). Smart City di Indonesia: Analisis Bibliometrik dan Analisis Konten. *Jurnal Teknologi dan Komunikasi Pemerintahan*, 7(2), 217–235. <https://doi.org/10.33701/jtkp.v7i2.5900>
- Nikonovas, T. (2021). ProbFire: A probabilistic fire early warning system for Indonesia. *Natural Hazards and Earth System Sciences Discussions*.
<https://doi.org/10.5194/nhess-2021-245>
- Pemanfaatan Machine Learning untuk Prediksi Bencana Banjir di Wilayah Perkotaan Indonesia. (2022). *Mathematical Problems in Engineering*.
<https://doi.org/10.1155/2022/9535488>
- Peraturan Presiden Nomor 39 Tahun 2019 tentang Satu Data Indonesia (Sekretariat Negara Republik Indonesia 12 Agustus 2019).
<https://peraturan.bpk.go.id/Details/117921/perpres-no-39-tahun-2019>
- Pohan, M. A. R. (2023). Kajian Literatur Pemanfaatan Kecerdasan Buatan dalam Merespons Prioritas Pembangunan Kota Bandung. *Jurnal Teknologi dan Komunikasi Pemerintahan*, 5(2), 250–273.
<https://doi.org/10.33701/jtkp.v5i2.3620>
- Pradirta, I. B. M. L., Piarsa, I. N., & Dharmaadi, I. P. A. (2022). Sistem Pendeteksi Banjir dan Badai Angin serta Monitoring Cuaca Berbasis Internet of Things. *Jurnal Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer*, 9(5).
<https://doi.org/10.25126/jtiik.2022955983>
- Pramono, S. (2023). Implementation Early Design of Prototype EEWS Development in Indonesia. *Dalam Research Square*. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-2774584/v1>

- Rahmania, A. M., & Setiawan, A. (2026). Model Sistem Mitigasi Bencana Dashboard Peringatan Dini Banjir Setrokalangan Menggunakan Metode Waterfall. *Jutisi: Jurnal Ilmiah Teknik Informatika dan Sistem Informasi*, 15(3). <https://doi.org/10.35889/jutisi.v15i3.3652>
- Samadi, S. (2022). The convergence of AI, IoT, and big data for advancing flood analytics research. *Frontiers in Water*. <https://doi.org/10.3389/frwa.2022.786040>
- Setiawan, F. A. (2025). Integrasi Big Data Dan Sistem Informasi Geospasial Untuk Meningkatkan Ketahanan Pangan Di Indonesia. <https://doi.org/10.47709/dsi.v5i1.6287>
- Sharma, K. (2021). A Disaster Management Framework Using Internet of Things-Based Interconnected Devices. <https://doi.org/10.1155/2021/9916440>
- Siswanto, Ngatono, & Saputra, S. F. (2022). Prototype Sistem Peringatan Dini Bencana Gempa Bumi dan Tsunami Berbasis Internet of Things. *Jurnal PROSISKO*.
- Sumardiono, A., Alimudin, E., Zaenurrohman, & Susanti, H. (2022). Rancang Bangun Monitoring Early Warning System Bencana Banjir Berdasarkan Ketinggian Aliran Sungai Menggunakan Modem SIM900 dan IoT. *Jurnal Infotekmesin*, 13(1). <https://doi.org/10.35970/infotekmesin.v13i1.1019>
- Sung, W.-T., Devi, I. V., & Hsiao, S.-J. (2022). Early warning of impending flash flood based on AIoT. *EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking*. <https://doi.org/10.1186/s13638-022-02096-5>
- Tenda, E. P., Lengkong, A. V., & Pinontoan, K. F. (2021). Sistem Peringatan Dini Banjir Berbasis IoT dan Twitter. *CogITo Smart Journal*, 7(1), 26–39. <https://doi.org/10.31154/cogito.v7i1.284.26-39>
- Usmanto, B., & Usman, B. H. S. (2018). Prototype Sistem Pendeteksi dan Peringatan Dini Bencana Alam di Indonesia Berbasis Internet of Things (IoT). *Explore: Jurnal Sistem Informasi dan Telematika*, 9(2). <https://doi.org/10.36448/jsit.v9i2.1085>
- Utama, R. M., Sucahyo, I., & Yantidewi, M. (2022). Rancang Bangun Alat Deteksi Tanah Longsor Berbasis IoT dengan NodeMCU ESP8266 dan MPU6050. *JiIF (Jurnal Ilmu dan Inovasi Fisika)*, 6(2), 137–146. <https://doi.org/10.24198/jiif.v6i2.40451>



© 2026 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY SA) license (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/>).