



## Pemanfaatan Teknologi Satelit untuk Mitigasi Bencana dan Penguatan Resiliensi Nasional terhadap Ancaman Geospasial di Indonesia



Mulya Afriyanto<sup>1,\*</sup>, Asep Adang Supriyadi<sup>1</sup>, Syachrul Arief<sup>2</sup>, Dangan Waluyo<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Indonesia Defense University

<sup>2</sup>Badan Informasi Geospasial

\*Email: mulyaafriyanto@gmail.com

DOI: <https://doi.org/10.33369/pendipa.9.3.866-877>

### ABSTRACT

**[Utilization of Satellite Technology for Disaster Mitigation and Strengthening National Resilience against Geospatial Threats in Indonesia]** Indonesia is one of the countries with the highest level of geospatial disaster risk due to its position on the Pacific Ring of Fire and its exposure to earthquakes, tsunamis, volcanic eruptions, floods, and landslides. The increasing complexity and frequency of disasters, exacerbated by climate change, demands a faster, more accurate, and integrated monitoring system. However, previous studies have focused more on the technical aspects of disaster monitoring without comprehensively examining the strategic role of satellite technology in strengthening Indonesia's national resilience. This gap is the basis for this study. This study aims to analyze the contribution of satellite technology in disaster mitigation and assess how satellite data integration can strengthen national resilience to geospatial threats. The method used is a systematic literature review of reputable international publications from 2014 to 2025 that discuss remote sensing technology, InSAR, damage mapping, early warning systems, and geospatial integration for disaster risk management. The results of the study show that satellite technology plays an important role in three main aspects: (1) real-time disaster monitoring through multisensor data capable of covering a wide area; (2) improving the accuracy of early warning systems for various geospatial disasters; and (3) strengthening national resilience through support for damage mapping, rapid response, and strategic decision-making and inter-agency coordination. The novelty of this research lies in the development of an integrative synthesis that links the use of satellite data with Indonesia's national resilience framework, as well as the affirmation of the need to integrate satellite technology into national disaster management policies. These findings have important implications for strengthening modern mitigation systems and adapting to the escalation of geospatial risks in the future.

**Keywords:** Satellite Technology; Remote Sensing; Disaster Mitigation; National Resilience; Geospatial Threats.

### ABSTRAK

Indonesia merupakan salah satu negara dengan tingkat risiko bencana geospasial tertinggi akibat posisinya pada Cincin Api Pasifik dan paparan terhadap gempa bumi, tsunami, letusan gunung api, banjir, serta tanah longsor. Kompleksitas dan frekuensi bencana yang meningkat, diperparah oleh perubahan iklim, menuntut sistem pemantauan yang lebih cepat, akurat, dan terintegrasi. Namun, berbagai penelitian sebelumnya lebih berfokus pada aspek teknis pemantauan bencana tanpa mengkaji secara komprehensif peran strategis teknologi satelit dalam memperkuat resiliensi nasional Indonesia. Kesenjangan inilah yang menjadi dasar penelitian ini. Penelitian ini bertujuan menganalisis kontribusi teknologi satelit dalam mitigasi bencana dan menilai bagaimana integrasi data satelit dapat memperkuat resiliensi nasional terhadap ancaman geospasial. Metode yang digunakan adalah tinjauan pustaka sistematis terhadap publikasi bereputasi internasional tahun 2014–2025 yang membahas teknologi penginderaan jauh, InSAR, pemetaan kerusakan, sistem peringatan dini, dan integrasi geospasial untuk manajemen risiko bencana. Hasil penelitian menunjukkan bahwa teknologi satelit berperan penting dalam tiga aspek utama:

(1) pemantauan bencana secara real time melalui data multisensor yang mampu menjangkau wilayah luas; (2) peningkatan akurasi sistem peringatan dini untuk berbagai bencana geospasial; dan (3) penguatan resiliensi nasional melalui dukungan pemetaan kerusakan, respons cepat, pengambilan keputusan strategis, serta koordinasi lintas lembaga. Novelty penelitian ini terletak pada penyusunan sintesis integratif yang menghubungkan pemanfaatan data satelit dengan kerangka resiliensi nasional Indonesia, serta penegasan perlunya integrasi teknologi satelit ke dalam kebijakan penanggulangan bencana nasional. Temuan ini memberikan implikasi penting bagi penguatan sistem mitigasi modern dan adaptasi terhadap eskalasi risiko geospasial di masa depan.

**Kata kunci:** Teknologi Satelit; Penginderaan Jauh; Mitigasi Bencana; Resiliensi Nasional; Ancaman Geospasial.

## PENDAHULUAN

Indonesia, sebagai negara kepulauan yang berada di Cincin Api Pasifik, merupakan salah satu wilayah dengan tingkat kerentanan bencana geospasial tertinggi di dunia. Aktivitas tektonik yang intens menjadikan Indonesia sangat rentan terhadap gempa bumi, tsunami, letusan gunung api, banjir, dan tanah longsor. Berbagai peristiwa besar seperti tsunami Aceh 2004, gempa Lombok, dan likuefaksi Palu menunjukkan besarnya ancaman tersebut dan dampaknya terhadap keselamatan masyarakat, kerusakan infrastruktur, serta hambatan terhadap pembangunan social ekonomi nasional. Kondisi ini menunjukkan perlunya sistem pemantauan bencana yang lebih modern dan responsif. Cozannet et al. (2020) menegaskan bahwa keterbatasan prediksi dan pemantauan konvensional sering membuat respons bencana di Indonesia kurang optimal. Perubahan iklim memperburuk situasi dengan meningkatkan frekuensi banjir, tanah longsor, kenaikan muka air laut, serta kebakaran hutan. Intensitas curah hujan yang tidak menentu memicu banjir di wilayah dataran rendah, sementara kondisi geologi pegunungan menyebabkan meningkatnya risiko longsor. Dampak-dampak ini tidak hanya menimbulkan kerugian fisik dan korban jiwa, tetapi juga memengaruhi sektor vital seperti pertanian, perikanan, dan pariwisata. Daerah dengan kerentanan tinggi, khususnya pesisir dan lereng pegunungan, sering kali menghadapi kesulitan dalam akses bantuan dan pemulihan pasca-bencana.

Dalam konteks inilah teknologi satelit memainkan peran strategis. Satelit mampu menyediakan data geospasial *real time* yang sangat diperlukan untuk memantau pergerakan tektonik, cuaca ekstrem, perubahan tanah, dan

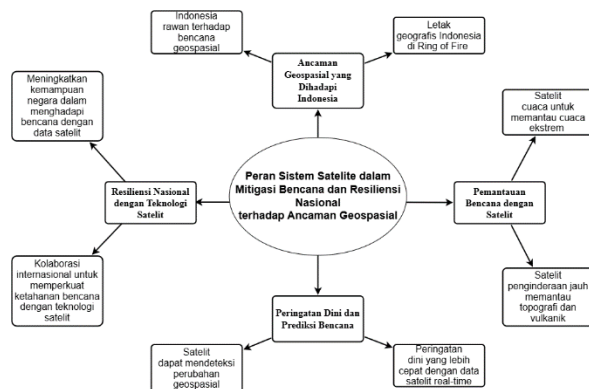
potensi bencana lainnya. Teknologi ini juga memungkinkan pemetaan cepat wilayah terdampak pasca-bencana sehingga respons darurat dapat dilakukan lebih terarah (Delmonteil & Rancourt, 2017). Selain itu, integrasi pemodelan tsunami dan pemetaan darurat berbasis satelit, sebagaimana ditunjukkan Ajmar et al. (2019), meningkatkan kecepatan dan akurasi penilaian bencana di lapangan. Pemanfaatan satelit juga memperkuat sistem peringatan dini. Fitriani et al. (2023) menunjukkan bahwa pemantauan cuaca dan pola hujan berbasis satelit dapat memprediksi potensi banjir, longsor, dan ancaman bencana lainnya dengan lebih akurat. Data satelit bahkan memungkinkan deteksi perubahan geospasial secara berkelanjutan untuk mengidentifikasi area berisiko sebelum bencana terjadi. Dalam konteks pemulihan, citra sebelum dan sesudah bencana membantu mempercepat penilaian kerusakan dan distribusi bantuan (Baraldo & Franco, 2024).

Lebih jauh, teknologi satelit mendukung penguatan resiliensi nasional dengan menyediakan informasi akurat bagi perencanaan, mitigasi, hingga pemulihan. Sistem geospasial terintegrasi terbukti meningkatkan efektivitas manajemen risiko bencana (Ding et al., 2014) dan mempercepat respons terhadap berbagai ancaman. Kolaborasi internasional melalui pemanfaatan data satelit, seperti disampaikan Khan et al. (2022), juga semakin memperluas kapasitas Indonesia dalam menghadapi bencana lintas wilayah dan fenomena global seperti perubahan iklim. Dengan kompleksitas ancaman geospasial dan meningkatnya dampak perubahan iklim, integrasi teknologi satelit menjadi kebutuhan strategis bagi Indonesia. Teknologi ini tidak hanya mendukung pemantauan bencana secara real time, tetapi juga memperkuat sistem

peringatan dini dan meningkatkan kemampuan negara dalam merespons dan pulih dari bencana secara lebih efektif dan berkelanjutan.

## METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan Systematic Literature Review (SLR) untuk menganalisis peran teknologi satelit dalam mitigasi bencana serta kontribusinya terhadap penguatan resiliensi nasional Indonesia. Pendekatan ini dipilih karena topik penelitian memerlukan pemahaman komprehensif dari berbagai hasil studi yang membahas pemantauan geospasial, sistem peringatan dini, penginderaan jauh, serta integrasi teknologi satelit dalam kebijakan kebencanaan. Proses SLR dilakukan melalui tahapan pencarian, seleksi, penilaian, dan sintesis literatur yang diperoleh dari basis data bereputasi seperti Scopus, Web of Science, ScienceDirect, SpringerLink, MDPI, dan IEEE Xplore, serta dokumen lembaga nasional seperti BNPB, BMKG, dan BRIN. Kata kunci yang digunakan antara lain *satellite technology*, *remote sensing*, *disaster mitigation*, *InSAR*, *early warning systems*, dan *geospatial resilience*, dengan rentang publikasi antara tahun 2014 hingga 2025.



**Gambar 1.** Kerangka Penelitian

Literatur yang diikutkan dalam penelitian harus memenuhi kriteria relevansi dengan topik bencana geospasial, penggunaan teknologi satelit, dan konteks negara rawan bencana, khususnya Indonesia. Artikel yang tidak memiliki basis data ilmiah, tidak relevan, atau bersifat opini dikeluarkan dari analisis.

Setiap literatur yang lolos seleksi kemudian dianalisis dengan mengekstraksi informasi mengenai jenis satelit, sensor, metode pemantauan, bentuk kontribusi teknologi tersebut terhadap mitigasi bencana, serta hubungan temuan dengan kerangka resiliensi nasional. Seluruh informasi tersebut disintesis secara tematik untuk mengidentifikasi pola umum, inovasi teknologi, serta gap pengetahuan yang masih terdapat pada penelitian sebelumnya. Melalui proses ini, penelitian menghasilkan gambaran menyeluruh tentang peran strategis teknologi satelit dalam mendukung mitigasi bencana dan memperkuat ketahanan nasional terhadap ancaman geospasial di Indonesia.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### 1. Ancaman Geospasial yang Dihadapi Indonesia

Indonesia adalah negara yang terletak di kawasan yang sangat rentan terhadap berbagai jenis bencana alam geospasial, yang sebagian besar disebabkan oleh kondisi geografis dan geologisnya. Sebagai bagian dari Cincin Api Pasifik, Indonesia sering mengalami gempa bumi besar, erupsi gunung berapi, serta ancaman tsunami yang disebabkan oleh pergerakan lempeng tektonik. Selain itu, Indonesia juga rawan menghadapi bencana alam lainnya seperti banjir dan tanah longsor, terutama pada musim hujan. Letak geografis Indonesia yang terdiri dari ribuan pulau dengan kondisi topografi yang bergunung-gunung dan pesisir yang panjang memperburuk tantangan dalam pengelolaan dan mitigasi bencana, karena sulitnya memantau dan merespons bencana yang terjadi di berbagai wilayah secara bersamaan.

Indonesia terletak di pertemuan tiga lempeng tektonik besar, yaitu Lempeng Eurasia, Lempeng Indo Australia, dan Lempeng Pasifik. Posisi ini membuat Indonesia sangat rentan terhadap gempa bumi, yang sering kali berpotensi memicu tsunami. Gempa bumi besar yang terjadi di Aceh pada tahun 2004 adalah salah satu bencana alam terbesar yang pernah tercatat, di mana gempa berkekuatan 9,1-9,3 SR memicu tsunami dahsyat yang menewaskan lebih dari 200.000 orang di beberapa negara. Gempa bumi lainnya, seperti yang terjadi di Lombok dan

Palu, juga menunjukkan betapa besar dampak dari bencana ini terhadap infrastruktur dan kehidupan masyarakat. Tsunami di Indonesia sering terjadi secara mendadak, dengan waktu evakuasi yang sangat terbatas. Oleh karena itu, sistem pemantauan berbasis teknologi satelit menjadi sangat penting dalam meningkatkan ketahanan negara terhadap ancaman ini. Peringatan dini yang berbasis satelit memberikan kesempatan lebih banyak bagi masyarakat untuk melakukan evakuasi dan mengambil langkah-langkah mitigasi lainnya. Menurut Robinson et al. (2019), meskipun sangat berguna, pemetaan berbasis satelit menghadapi tantangan seperti kondisi awan yang dapat menghambat visibilitas. Teknologi yang terus berkembang diperlukan untuk mengatasi kendala ini dan meningkatkan akurasi pemantauan.

Indonesia memiliki lebih dari 130 gunung berapi aktif yang tersebar di berbagai pulau utama dan berpotensi menimbulkan bencana besar melalui letusan, aliran piroklastik, abu vulkanik, dan gas beracun. Gunung Merapi, Sinabung, dan Agung merupakan contoh gunung berapi yang sering beraktivitas dan menimbulkan dampak signifikan terhadap infrastruktur serta keselamatan masyarakat. Pemantauan berbasis satelit meningkatkan efektivitas pengawasan aktivitas vulkanik, terutama melalui radar penginderaan jauh yang mampu mendeteksi deformasi permukaan sebagai indikasi peningkatan aktivitas. Liang et al. (2024) menunjukkan bahwa teknologi SAR dapat digunakan untuk memetakan longsor yang terjadi setelah aktivitas seismik dan erupsi, sehingga membantu pemerintah memberikan peringatan dini dan menyiapkan langkah mitigasi. Selain ancaman vulkanik, Indonesia juga rentan terhadap banjir dan tanah longsor, khususnya pada musim hujan. Banjir sering terjadi di dataran rendah pesisir dan sepanjang aliran sungai, sementara longsor umum di wilayah pegunungan dengan kemiringan curam. Risiko ini semakin meningkat akibat perubahan iklim yang memicu intensitas hujan lebih tinggi, serta degradasi lingkungan akibat deforestasi dan urbanisasi tidak terkendali. Teknologi GIS dan drone efektif untuk mengevaluasi risiko banjir dan mendukung mitigasi (Bilaşco et al., 2022). Citra satelit juga memainkan peran penting dalam identifikasi cepat area terdampak banjir,

sebagaimana ditunjukkan oleh Chen et al. (2021), sehingga mempermudah distribusi bantuan dan perencanaan pemulihan pascabencana.

Keberagaman ancaman geospasial yang dihadapi Indonesia, dikombinasikan dengan topografi yang bergunung-gunung dan pesisir yang panjang, membuat pengelolaan bencana semakin sulit. Salah satu tantangan utama adalah keterbatasan akses ke daerah-daerah yang terisolasi, seperti pulau-pulau kecil atau daerah pegunungan yang sulit dijangkau. Ini menjadi masalah besar dalam upaya mitigasi dan respons terhadap bencana yang terjadi. Duan et al. (2025) menekankan bahwa integrasi data dari berbagai sensor dan penggunaan teknologi satelit dengan resolusi spasial yang lebih tinggi dapat membantu mengatasi keterbatasan ini. Dengan teknologi ini, informasi mengenai kondisi cuaca, pergerakan tanah, dan potensi bencana lainnya dapat diperoleh secara lebih cepat dan akurat, yang memungkinkan respons lebih efektif terhadap bencana yang terjadi.

Koordinasi antar instansi pemerintah, lembaga internasional, dan masyarakat juga menjadi tantangan dalam merespons bencana. Pemanfaatan sistem manajemen bencana yang terintegrasi dapat membantu menggabungkan berbagai sumber daya geospasial dan informasi terkait untuk memberikan keputusan yang lebih baik dalam mengatasi bencana. Fang et al. (2023) menjelaskan bahwa penggunaan sumber daya geospasial dan integrasi informasi dapat mempercepat pengambilan keputusan dalam menghadapi bencana dan meminimalkan kerugian. Selain ancaman geospasial yang sudah ada, Indonesia juga menghadapi tantangan besar dari perubahan iklim global. Perubahan suhu, perubahan pola curah hujan, serta peningkatan frekuensi badai mempengaruhi banyak sektor di Indonesia, termasuk pertanian, perikanan, dan infrastruktur. Misalnya, perubahan iklim menyebabkan peningkatan intensitas hujan yang mengarah pada banjir dan tanah longsor yang lebih sering terjadi.

Untuk menghadapi tantangan perubahan iklim, teknologi satelit memainkan peran yang sangat penting. Penggunaan citra satelit untuk memantau suhu permukaan tanah dan mengukur dampak perubahan iklim sangat membantu dalam perencanaan mitigasi. Duan et al. (2025)

menunjukkan bagaimana teknologi satelit dapat digunakan untuk memantau pemulihan suhu lahan setelah bencana, serta untuk memantau perubahan kondisi lingkungan yang disebabkan oleh perubahan iklim. Data ini membantu dalam merencanakan langkah-langkah mitigasi yang lebih efektif terhadap dampak perubahan iklim di masa depan. Indonesia menghadapi berbagai ancaman geospasial yang sangat beragam dan kompleks. Negara ini sangat rentan terhadap gempa bumi, tsunami, letusan gunung berapi, banjir, dan tanah longsor. Tantangan utama dalam pengelolaan bencana adalah kesulitan memantau dan merespons bencana yang terjadi di berbagai wilayah secara simultan. Teknologi satelit dan sistem geospasial terintegrasi memainkan peran penting dalam memantau dan mengelola risiko bencana di Indonesia. Dengan pemanfaatan teknologi ini, Indonesia dapat meningkatkan kesiapsiagaan dan respons terhadap bencana serta mempercepat proses pemulihan setelah bencana terjadi. Dengan cara ini, Indonesia dapat memperkuat ketahanan nasional terhadap ancaman geospasial yang terus berkembang.

## 2. Pemantauan Bencana dengan Satelit

Pemantauan bencana alam menggunakan teknologi satelit memainkan peran yang sangat penting dalam memperkuat ketahanan terhadap bencana. Teknologi satelit memungkinkan pemantauan cuaca ekstrem, perubahan topografi, serta aktivitas vulkanik secara *real time* dan di area yang luas. Hal ini sangat krusial dalam upaya mitigasi dan respons cepat terhadap bencana. Dengan menggunakan satelit, informasi yang dibutuhkan untuk peringatan dini dapat diperoleh dengan cepat, yang memungkinkan masyarakat dan pemerintah untuk mengambil langkah-langkah mitigasi yang lebih efektif. Bencana yang sering terjadi akibat cuaca ekstrem termasuk badai tropis, hujan lebat, dan kekeringan. Indonesia, sebagai negara kepulauan yang terletak di zona tropis, sering mengalami curah hujan yang tinggi dan badai yang berpotensi menyebabkan banjir dan tanah longsor. Wania et al. (2021) menekankan pentingnya sistem peringatan dini berbasis satelit dalam mempercepat pemetaan banjir, yang dapat

meningkatkan ketepatan waktu penanggulangan bencana dan menyelamatkan lebih banyak nyawa. Satelit cuaca, seperti satelit yang diluncurkan oleh organisasi seperti NOAA atau EUMETSAT, memiliki kemampuan untuk memantau pola angin, suhu permukaan laut, dan tekanan atmosfer yang berhubungan dengan cuaca ekstrem.

Satelit cuaca seperti Meteosat dan Himawari menyediakan informasi penting mengenai dinamika atmosfer, termasuk pola hujan dan potensi badai tropis, sehingga meningkatkan akurasi sistem peringatan dini. Data ini memungkinkan aktivasi prosedur mitigasi secara lebih cepat dan terukur. Selain itu, citra Sentinel-1 dan Sentinel-2 digunakan untuk memantau curah hujan, mendeteksi genangan, dan memetakan wilayah terdampak banjir, sehingga memperkuat manajemen bencana hidrometeorologi (Chen & Zhao, 2022). Pemantauan satelit yang bersifat kontinu juga mendukung analisis tren iklim jangka panjang, yang penting untuk memprediksi kejadian cuaca ekstrem masa depan. Kaku (2018) menegaskan bahwa pemantauan atmosfer berbasis satelit memerlukan pendekatan terintegrasi untuk meningkatkan efektivitas respons bencana.

Selain risiko cuaca ekstrem, Indonesia juga menghadapi ancaman signifikan dari aktivitas vulkanik akibat lebih dari 130 gunung berapi aktif yang tersebar di seluruh wilayah. Teknologi penginderaan jauh, khususnya radar SAR, memungkinkan deteksi perubahan topografi dan deformasi permukaan yang sering mendahului letusan. Melalui teknik InSAR, perubahan mikro pada permukaan tanah dapat dipantau dengan resolusi tinggi, sehingga memperkuat sistem peringatan dini vulkanik (Fan et al., 2012). Citra Sentinel-1 dan Sentinel-2 juga efektif untuk memantau distribusi abu vulkanik serta kondisi permukaan kawah. Voigt et al. (2007) menunjukkan bahwa analisis citra satelit mampu mengidentifikasi perubahan permukaan terkait aktivitas vulkanik secara lebih akurat, sehingga memungkinkan evakuasi dan respons yang lebih cepat. Bencana banjir, yang merupakan salah satu yang paling sering terjadi di Indonesia, juga sangat terbantu oleh pemantauan satelit. Radar SAR, terutama pada platform Sentinel-1, mampu menghasilkan pemetaan cepat dan akurat terhadap area yang

tergenang, termasuk pada kondisi cuaca ekstrem yang menghambat observasi optik. Informasi ini menjadi dasar penting dalam upaya tanggap darurat dan distribusi bantuan.

Sistem pemantauan banjir berbasis satelit memungkinkan pemantauan terus-menerus terhadap area yang rentan banjir, memberikan data yang diperlukan untuk menilai sejauh mana bencana meluas. Roth et al. (2025) mengungkapkan bahwa data Sentinel-1 dapat digunakan untuk memetakan area banjir secara lebih akurat, dengan menggunakan teknik pemetaan berbasis Bayesian yang membantu meningkatkan ketepatan dalam pemetaan extents banjir. Selain itu, dengan teknologi satelit, pemantauan yang lebih luas dapat dilakukan secara lebih cepat, tanpa terbatas oleh kerusakan infrastruktur yang terjadi akibat bencana. Penggunaan teknologi satelit dalam pemantauan banjir juga sangat berguna untuk merencanakan langkah mitigasi yang lebih efektif, seperti pembangunan tanggul atau penataan kembali wilayah yang sering terkena banjir. Wang et al. (2023) menggarisbawahi pentingnya pemantauan berkelanjutan menggunakan citra satelit multisumber untuk mendeteksi perubahan yang terjadi selama banjir, memungkinkan pihak berwenang untuk merespons lebih cepat dan lebih efisien.

Selain untuk pemantauan bencana alam, teknologi satelit juga dapat digunakan untuk memantau kondisi infrastruktur dan kesehatan masyarakat pasca bencana. Setelah bencana terjadi, pemetaan kerusakan infrastruktur dan pemulihan sistem kesehatan menjadi sangat penting. Satelit dapat memberikan gambaran tentang area yang paling parah terdampak, sehingga distribusi bantuan dapat dilakukan lebih terorganisir. Peixoto et al. (2023) menjelaskan bahwa penggunaan data geospasial satelit dapat membantu dalam pemetaan infrastruktur perkotaan yang penting untuk respons darurat. Teknologi satelit memungkinkan pihak berwenang untuk memantau perubahan besar yang terjadi pada infrastruktur kritis seperti rumah sakit, jembatan, dan fasilitas publik lainnya. Selain itu, satelit juga dapat digunakan untuk memantau kondisi kesehatan masyarakat, dengan memberikan informasi yang berguna untuk mendeteksi daerah yang membutuhkan perhatian medis segera.

Meskipun teknologi satelit memberikan banyak manfaat dalam pemantauan bencana, ada beberapa tantangan yang perlu diatasi. Salah satu tantangan utama adalah keterbatasan resolusi spasial dan temporal dari citra satelit, yang dapat mempengaruhi ketepatan pemetaan dan analisis. Beberapa jenis satelit memiliki resolusi yang lebih rendah, yang dapat membatasi kemampuan untuk mendeteksi perubahan kecil atau untuk mendapatkan detail yang sangat diperlukan dalam analisis bencana. Selain itu, kondisi cuaca seperti awan dan hujan juga dapat mengganggu kualitas citra satelit, terutama dalam pemantauan bencana seperti banjir dan letusan gunung berapi. Namun, dengan perkembangan teknologi yang pesat, terutama dalam hal resolusi citra dan frekuensi pemantauan, tantangan ini semakin dapat diatasi. Wang et al. (2025) mengemukakan pentingnya penggunaan citra satelit dari berbagai sumber dan teknologi pemrosesan citra yang lebih canggih untuk meningkatkan ketepatan pemantauan dan deteksi perubahan. Dengan pemanfaatan data multisensor, seperti yang dilakukan oleh Shukla et al. (2021), kita dapat meningkatkan efektivitas pemantauan bencana, sehingga respons terhadap bencana dapat dilakukan lebih cepat dan lebih akurat.

Pemantauan bencana dengan satelit telah menjadi alat yang sangat penting dalam mengelola dan mengurangi dampak bencana alam. Satelit cuaca dan penginderaan jauh memberikan informasi yang dibutuhkan untuk memantau cuaca ekstrem, perubahan topografi, dan aktivitas vulkanik dengan cara yang lebih efisien dan akurat dibandingkan dengan metode konvensional. Dengan dukungan teknologi satelit, Indonesia dan negara lainnya dapat meningkatkan ketahanan terhadap bencana, mempercepat pemulihan pasca bencana, dan menyelamatkan lebih banyak nyawa.

### **3. Peringatan Dini dan Prediksi Bencana**

Peringatan dini dan prediksi bencana adalah kunci utama dalam upaya mitigasi bencana. Dengan memanfaatkan teknologi satelit, kita dapat mendeteksi potensi bencana lebih cepat dan lebih akurat, yang memungkinkan langkah mitigasi yang lebih efektif serta mempercepat respons terhadap

bencana. Satelit mampu mendeteksi perubahan geospasial yang dapat mengarah pada bencana seperti gempa bumi, tsunami, dan banjir. Teknologi ini juga memungkinkan pengumpulan data secara *real time*, yang mendukung peringatan dini yang lebih cepat dan memberi lebih banyak waktu untuk evakuasi serta langkah-langkah pencegahan lainnya. Dalam konteks ini, teknologi satelit menawarkan solusi untuk memperkuat ketahanan negara terhadap bencana. Zhang et al. (2024) mengemukakan bahwa penggunaan teknologi grafis logika berbasis pengetahuan dalam perencanaan observasi lingkungan dapat meningkatkan efektivitas pemantauan bencana dan sistem peringatan dini. Dengan analisis berbasis data satelit, kita bisa mendapatkan gambaran yang lebih jelas tentang potensi ancaman yang mengarah pada bencana.

Salah satu kemampuan utama teknologi satelit adalah kemampuannya untuk mendeteksi perubahan geospasial yang dapat menunjukkan adanya potensi bencana. Satelit penginderaan jauh, khususnya yang menggunakan radar, seperti Sentinel-1, dapat mendeteksi pergerakan permukaan tanah akibat pergeseran lempeng tektonik atau gempa bumi. Teknologi interferometri radar (InSAR) memungkinkan pemantauan deformasi tanah dengan resolusi tinggi, yang dapat mengindikasikan aktivitas tektonik yang berpotensi memicu gempa bumi atau tanah longsor (Kumari et al., 2024). Dengan memanfaatkan data ini, ilmuwan dapat memperkirakan daerah-daerah yang berisiko tinggi terhadap bencana, memberikan waktu lebih banyak untuk memberi peringatan dini. Selain itu, satelit cuaca seperti Himawari dan Meteosat memberikan informasi terkait pola cuaca dan kondisi atmosfer yang dapat mempengaruhi terjadinya bencana cuaca ekstrem, seperti badai tropis atau hujan lebat. Pemantauan ini sangat penting, terutama untuk negara-negara tropis seperti Indonesia, yang sering mengalami bencana banjir dan tanah longsor akibat hujan ekstrem. Dengan memantau suhu permukaan laut, angin, dan kelembaban atmosfer, satelit dapat mendeteksi pembentukan badai atau cuaca ekstrem lainnya dengan lebih cepat dan lebih akurat (Rokvić & Stanojević, 2024). Informasi yang didapatkan dari satelit cuaca ini sangat berguna untuk mengaktifkan

sistem peringatan dini, memungkinkan pemerintah dan masyarakat untuk mengambil langkah-langkah mitigasi lebih awal.

Keunggulan utama teknologi satelit adalah kemampuannya menyediakan data *real time*, yang sangat penting untuk respons cepat terhadap bencana. Observasi satelit seperti Sentinel-1 memungkinkan pemantauan banjir secara akurat bahkan di wilayah yang sulit dijangkau oleh metode konvensional. Data ini mempercepat pembaruan sistem peringatan dini, sehingga evakuasi dan tindakan mitigasi dapat dilakukan lebih awal. Prasetyo et al. (2024) menunjukkan bahwa pemetaan banjir berbasis satelit meningkatkan ketepatan identifikasi area tergenang dan mempercepat distribusi bantuan kemanusiaan, sementara Yulianto et al. (2020) menegaskan pentingnya integrasi data satelit dengan sistem komunikasi untuk memperlancar penyebaran informasi bencana di wilayah rawan gempa, tsunami, dan longsor. Teknologi satelit juga menjadi instrumen penting dalam memantau potensi gempa bumi dan tsunami melalui analisis pergerakan lempeng tektonik. Sistem InSAR memungkinkan deteksi deformasi tanah dengan presisi tinggi, sehingga memperpanjang waktu peringatan bagi masyarakat yang tinggal di zona pesisir atau wilayah rentan gempa. Fischer-Prefßler et al. (2024) menekankan bahwa efektivitas sistem peringatan dini meningkat ketika data satelit diintegrasikan dengan sensor cuaca dan informasi seismik. Prediksi bencana berbasis satelit menggabungkan pengamatan deformasi tektonik dengan model geospasial dan seismik untuk memperkirakan kemungkinan gempa besar (Prasertsoong & Puttanapong, 2024), sehingga mendukung kesiapsiagaan pemerintah dan masyarakat.

Pada konteks banjir, data satelit memungkinkan pemodelan risiko berdasarkan curah hujan dan kondisi permukaan tanah. Wang et al. (2023) menunjukkan bahwa analisis perubahan permukaan dan pola hujan dapat meningkatkan akurasi prediksi banjir, sehingga langkah mitigasi dapat dilakukan lebih cepat dan tepat sasaran. Data satelit juga mendukung pemetaan wilayah berisiko tinggi dan perencanaan distribusi bantuan. Pendekatan berbasis deep learning semakin memperkuat sistem prediksi bencana melalui analisis data media sosial terkait kejadian bencana (Singla &

Agrawal, 2023). Meskipun manfaatnya besar, beberapa tantangan masih perlu diperhatikan, seperti keterbatasan resolusi spasial temporal dan gangguan atmosfer yang mengurangi kualitas citra. Namun, perkembangan teknologi termasuk peningkatan resolusi, frekuensi observasi, dan integrasi multisensory terus memperbaiki akurasi pemantauan. Kumari et al. (2024) dan Alamdar et al. (2015) menekankan bahwa integrasi berbagai sumber data, baik satelit maupun sensor darat, merupakan langkah kunci untuk menghasilkan sistem peringatan dini yang lebih komprehensif dan andal.

Selain itu, penerapan kecerdasan buatan (AI) dan pembelajaran mesin (machine learning) dalam analisis data satelit dapat mempercepat proses pemantauan dan meningkatkan prediksi bencana (Fischer-Preßler et al., 2024). Teknologi ini memungkinkan analisis yang lebih cepat dan lebih tepat, yang pada akhirnya meningkatkan kemampuan respons terhadap bencana. Teknologi satelit juga mendukung kolaborasi antar negara dan lembaga internasional dalam menghadapi bencana alam. Wormenor dan Asibey (2024) menekankan bahwa kolaborasi global dalam berbagi data satelit dapat mempercepat respons terhadap bencana besar dan meningkatkan koordinasi antar negara. Dengan berbagi informasi secara internasional, negara-negara dapat merespons bencana dengan lebih efisien dan mengurangi dampak yang ditimbulkan.

Peringatan dini dan prediksi bencana berbasis satelit memberikan kontribusi besar dalam mengurangi dampak bencana alam. Dengan kemampuan satelit untuk mendeteksi perubahan geospasial yang mengarah ke bencana dan menyediakan data *real time*, sistem peringatan dini dapat meningkatkan kecepatan respons dan memperkuat kesiapsiagaan. Teknologi satelit memungkinkan prediksi yang lebih akurat mengenai bencana yang akan datang, memberikan waktu lebih banyak bagi masyarakat untuk melakukan evakuasi atau mengambil langkah mitigasi lainnya. Dengan kemajuan teknologi dan integrasi data yang semakin berkembang, pemantauan dan prediksi bencana berbasis satelit akan terus menjadi alat utama dalam manajemen risiko bencana di masa depan.

#### 4. Resiliensi Nasional dengan Teknologi Satelit

Resiliensi nasional terhadap bencana sangat penting untuk memastikan bahwa negara mampu menghadapi dan pulih dengan cepat dari bencana alam. Teknologi satelit memiliki peran yang krusial dalam meningkatkan ketahanan ini. Dengan menyediakan data geospasial secara *real time*, satelit memungkinkan pemantauan yang lebih baik terhadap ancaman bencana seperti gempa bumi, tsunami, banjir, dan kebakaran hutan. Teknologi ini membantu negara-negara untuk merencanakan langkah mitigasi yang lebih baik, mempercepat respons, serta memperkuat ketahanan jangka panjang terhadap bencana.

Teknologi satelit dapat membantu negara dalam memperkuat ketahanan terhadap bencana dengan menyediakan data yang diperlukan untuk memantau perubahan geospasial yang dapat mengarah pada bencana. Sebagai contoh, satelit seperti Sentinel-1 dapat digunakan untuk memantau perubahan permukaan tanah yang dapat mengindikasikan pergerakan lempeng tektonik yang menyebabkan gempa bumi atau tsunami. Teknologi interferometri radar (InSAR) memungkinkan analisis perubahan tanah dengan resolusi tinggi, memberikan gambaran yang lebih akurat tentang potensi bencana yang akan datang (Hossin et al., 2023). Selain itu, satelit cuaca seperti Himawari dan Meteosat membantu memantau kondisi atmosfer dan pola cuaca yang dapat menyebabkan bencana cuaca ekstrem, seperti hujan lebat dan badai tropis. Penggunaan data satelit memungkinkan prediksi lebih tepat tentang potensi banjir atau tanah longsor akibat cuaca ekstrem. Ini memberikan waktu lebih banyak bagi pemerintah dan masyarakat untuk melakukan langkah mitigasi, seperti pengalihan jalur evakuasi atau pembentukan tanggul. Voigt et al. (2016) menyoroti pentingnya data satelit dalam pemantauan dan peringatan dini, yang memungkinkan tindakan preventif lebih cepat untuk mengurangi dampak bencana.

Teknologi satelit memainkan peran penting dalam pemantauan kebakaran hutan yang semakin sering terjadi akibat perubahan iklim. Pengamatan suhu permukaan dan kelembaban tanah memungkinkan deteksi dini area berisiko, sehingga tindakan pencegahan dapat dilakukan lebih cepat. Sarker et al. (2020) menekankan



bahwa data satelit mendukung perencanaan mitigasi kebakaran secara lebih efektif. Selain itu, kolaborasi internasional menjadi krusial karena bencana seperti gempa dan tsunami melampaui batas negara. Satelit memfasilitasi pertukaran data global secara *real time*, mempercepat respons dan pemulihan pascabencana. Program Copernicus merupakan contoh kolaborasi global yang sukses, menyediakan data satelit gratis untuk pemantauan dan pemetaan kerusakan, sehingga mempercepat distribusi bantuan (Voigt et al., 2016). Akses terbuka ini juga mendukung berbagai penelitian dan kebijakan mitigasi. Hossin et al. (2023) menunjukkan bahwa forum internasional seperti COP26 mendorong negara-negara bekerja sama dalam mengatasi dampak perubahan iklim melalui pemanfaatan data satelit yang lebih luas.

Kemajuan teknologi satelit, seperti peningkatan resolusi, frekuensi pemantauan, dan kemampuan penginderaan jauh, terus memperkuat ketahanan bencana. Li et al. (2025) menyoroti peran satelit dalam memantau ketahanan sistem logistik terhadap cuaca ekstrem, sementara integrasi AI dan pembelajaran mesin mempercepat analisis geospasial dan meningkatkan akurasi prediksi bencana (Diehr et al., 2025). Tantangan seperti keterbatasan resolusi spasial temporal mulai teratasi melalui integrasi multisensor dan metode pemodelan lanjutan, termasuk pendekatan berbasis model Markov tersembunyi untuk memantau resiliensi sistem (Liu et al., 2024). Secara keseluruhan, teknologi satelit menjadi komponen kunci dalam memperkuat ketahanan nasional melalui kemampuan pemantauan *real time*, prediksi lebih akurat, dan peningkatan koordinasi internasional. Dengan perkembangan teknologi yang terus berlanjut, satelit akan tetap menjadi instrumen utama dalam mitigasi dan manajemen risiko bencana.

## KESIMPULAN

Indonesia menghadapi ancaman geospasial yang sangat kompleks akibat posisinya di Cincin Api Pasifik dan kondisi geografis yang terdiri atas ribuan pulau dengan topografi beragam. Risiko gempa bumi, tsunami,

letusan gunung berapi, banjir, dan tanah longsor menuntut sistem pemantauan yang cepat, akurat, dan berkelanjutan. Dalam konteks ini, teknologi satelit terbukti menjadi komponen strategis untuk meningkatkan kesiapsiagaan dan ketahanan nasional. Pemantauan berbasis satelit menyediakan data geospasial *real time* yang memungkinkan deteksi dini perubahan lingkungan yang mengindikasikan potensi bencana, seperti deformasi tanah, intensitas curah hujan, banjir, hingga aktivitas vulkanik. Teknologi seperti InSAR dan radar Sentinel-1 meningkatkan akurasi pemetaan bencana, terutama di wilayah yang sulit diakses. Data ini memperkuat sistem peringatan dini, mempercepat respons, dan meminimalkan dampak korban maupun kerusakan infrastruktur.

Selain mendukung mitigasi dan respons domestik, teknologi satelit juga memperluas kerja sama internasional melalui berbagi data lintas negara, seperti program Copernicus yang memungkinkan pemantauan bencana lebih cepat dan terkoordinasi. Walaupun masih terdapat kendala seperti keterbatasan resolusi spasial dan gangguan atmosfer, kemajuan sensor dan integrasi multisumber terus meningkatkan reliabilitas teknologi ini. Secara keseluruhan, pemanfaatan teknologi satelit merupakan elemen kunci untuk memperkuat pengelolaan risiko bencana di Indonesia. Pengembangan sistem pemantauan berbasis satelit yang lebih komprehensif akan membantu perencanaan mitigasi, mempercepat pemulihan pascabencana, serta meningkatkan ketahanan nasional dan global terhadap ancaman geospasial yang semakin kompleks.

## DAFTAR PUSTAKA

- Ajmar, A., Annunziato, A., Boccardo, P., Tonolo, F. G., & Wania, A. (2019). Tsunami Modeling and Satellite-Based Emergency Mapping: Workflow Integration opportunities. *Geosciences*, 9(7), 314. <https://doi.org/10.3390/geosciences9070314>
- Alamdari, F., Kalantari, M., & Rajabifard, A. (2015). Towards multi-agency sensor information integration for disaster management. *Computers Environment and Urban Systems*, 56, 68–85. <https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2015.11.005>

- Baraldo, M., & Di Giuseppantonio Di Franco, P. (2024). Place-centred emerging Technologies for Disaster Management: a Scoping Review. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 112, 104782. <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2024.104782>
- Bilaşco, Ş., Hognogi, G., Roşca, S., Pop, A., Iuliu, V., Fodorean, I., Marian-Potra, A., & Sestras, P. (2022). Flash flood risk assessment and mitigation in Digital-ERA Governance using unmanned aerial vehicle and GIS spatial analyses Case study: Small River Basins. *Remote Sensing*, 14(10), 2481. <https://doi.org/10.3390/rs14102481>
- Chen, S., Huang, W., Chen, Y., & Feng, M. (2021). An Adaptive Thresholding Approach toward Rapid Flood Coverage Extraction from Sentinel-1 SAR Imagery. *Remote Sensing*, 13(23), 4899. <https://doi.org/10.3390/rs13234899>
- Chen, Z., & Zhao, S. (2022). Automatic monitoring of surface water dynamics using Sentinel-1 and Sentinel-2 data with Google Earth Engine. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 113, 103010. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2022.103010>
- Cozannet, G. L., Kervyn, M., Russo, S., Speranza, C. I., Ferrier, P., Fournelis, M., Lopez, T., & Modaressi, H. (2020). Space-Based Earth observations for disaster risk management. *Surveys in Geophysics*, 41(6), 1209–1235. <https://doi.org/10.1007/s10712-020-09586-5>
- Delmonteil, F., & Rancourt, M. (2017). The role of satellite technologies in relief logistics. *Journal of Humanitarian Logistics and Supply Chain Management*, 7(1), 57–78. <https://doi.org/10.1108/jhlscm-07-2016-0031>
- Diehr, J., Ogunyiola, A., & Dada, O. (2025). Artificial intelligence and machine learning-powered GIS for proactive disaster resilience in a changing climate. *Annals of GIS*, 1–14. <https://doi.org/10.1080/19475683.2025.2473596>
- Ding, Y., Fan, Y., Du, Z., Zhu, Q., Wang, W., Liu, S., & Lin, H. (2014). An integrated geospatial information service system for disaster management in China. *International Journal of Digital Earth*, 8(11), 918–945. <https://doi.org/10.1080/17538947.2014.955540>
- Dritsas, E., & Trigka, M. (2025). Remote sensing and Geospatial analysis in the Big Data Era: A survey. *Remote Sensing*, 17(3), 550. <https://doi.org/10.3390/rs17030550>
- Duan, X., Jahangir, Z., Lu, L., Yasir, Q. M., Aslam, R. W., Ahmed, R., Naz, I., Liaquat, M. A., Jamil, A., & Alzahrani, H. (2025). Enhanced Land-Surface Temperature Recovery through Multi-Sensor Data Fusion and Spatial Resolution Improvement. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 1–18. <https://doi.org/10.1109/jstars.2025.3548428>
- Fan, Y., Wen, Q., & Chen, S. (2012). Engineering survey of the Environment and Disaster Monitoring and Forecasting Small Satellite Constellation. *International Journal of Digital Earth*, 5(3), 217–227. <https://doi.org/10.1080/17538947.2011.648540>
- Fang, Z., Yue, P., Zhang, M., Xie, J., Wu, D., & Jiang, L. (2023). A service-oriented collaborative approach to disaster decision support by integrating geospatial resources and task chain. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 117, 103217. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2023.103217>
- Fischer-Preßler, D., Bonaretti, D., & Bunker, D. (2024). Digital transformation in disaster management: A literature review. *The Journal of Strategic Information Systems*, 33(4), 101865. <https://doi.org/10.1016/j.jsis.2024.101865>
- Fitriani, W. R., Sutanto, J., Handayani, P. W., & Hidayanto, A. N. (2023). User Compliance with the Health Emergency and Disaster Management System: Systematic Literature review. *Journal of Medical Internet Research*, 25, e41168. <https://doi.org/10.2196/41168>
- Hossin, M. A., Chen, L., Asante, I. O., Boadi, E. A., & Adu-Yeboah, S. S. (2023). Climate change and COP26: role of information technologies in disaster management and resilience. *Environment Development and Sustainability*. <https://doi.org/10.1007/s10668-023-04134-8>
- Ibrahim, T., & Mishra, A. (2021). A conceptual design of smart management system for

- flooding disaster. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(16), 8632. <https://doi.org/10.3390/ijerph18168632>
- Kaku, K. (2018). Satellite remote sensing for disaster management support: A holistic and staged approach based on case studies in Sentinel Asia. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 33, 417–432. <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2018.09.015>
- Khan, M. T. I., Anwar, S., & Batool, Z. (2022). The role of infrastructure, socio-economic development, and food security to mitigate the loss of natural disasters. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(35), 52412–52437. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-19293-w>
- Kumari, S., Agarwal, S., Agrawal, N. K., Agarwal, A., & Garg, M. C. (2024). A comprehensive review of remote sensing technologies for improved geological disaster management. *Geological Journal*. <https://doi.org/10.1002/gj.5072>
- Li, X., Xie, Y., Guo, Y., Wang, T., & Lin, T. (2025). Toward Climate-Resilient freight Systems: Measuring regional truck resilience to extreme rainfall via integrated flood demand modeling. *Sustainability*, 17(5), 1783. <https://doi.org/10.3390/su17051783>
- Liang, R., Dai, K., Xu, Q., Pirasteh, S., Li, Z., Li, T., Wen, N., Deng, J., & Fan, X. (2024). Utilizing a single-temporal full polarimetric Gaofen-3 SAR image to map coseismic landslide inventory following the 2017 Mw 7.0 Jiuzhaigou earthquake (China). *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 127, 103657. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2024.103657>
- Liu, J., Zhang, J., Tian, Q., & Wu, B. (2024). Resilience evaluation of multi-feature system based on hidden Markov model. *Reliability Engineering & System Safety*, 253, 110561. <https://doi.org/10.1016/j.ress.2024.110561>
- Peixoto, J. P. J., Costa, D. G., Portugal, P., & Vasques, F. (2023). A geospatial dataset of urban infrastructure for emergency response in Portugal. *Data in Brief*, 50, 109593. <https://doi.org/10.1016/j.dib.2023.109593>
- Prasertsoong, N., & Puttanapong, N. (2024). An integrated framework for satellite-based flood mapping and socioeconomic risk analysis: A case of Thailand. *Progress in Disaster Science*, 100393. <https://doi.org/10.1016/j.pdisas.2024.100393>
- Prasetyo, A., Sumarno, S., Jayaputra, A., Benedictus, M., Murni, R., Nainggolan, T., Purwasantana, D., Miftah, M., Wahab, N., Taruna, M. M., & Wibowo, A. (2024). Critical communication of disaster preparedness areas for informational strategies in disaster management in Indonesia. *Progress in Disaster Science*, 100368. <https://doi.org/10.1016/j.pdisas.2024.100368>
- Robinson, T. R., Rosser, N., & Walters, R. J. (2019). The spatial and temporal influence of cloud cover on Satellite-Based Emergency Mapping of earthquake disasters. *Scientific Reports*, 9(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-019-49008-0>
- Rokvić, V., & Stanojević, P. (2024). Disaster Risk reduction Education through Digital Technologies in the context of Education for Sustainable Development: A Curricula Analysis of security and defense studies in Serbia. *Sustainability*, 16(22), 9777. <https://doi.org/10.3390/su16229777>
- Roth, F., Tupas, M. E., Navacchi, C., Zhao, J., Wagner, W., & Bauer-Marschallinger, B. (2025). Evaluating the robustness of Bayesian flood mapping with Sentinel-1 data: A multi-event validation study. *Science of Remote Sensing*, 100210. <https://doi.org/10.1016/j.srs.2025.100210>
- Sarker, M. N. I., Peng, Y., Yiran, C., & Shouse, R. C. (2020). Disaster resilience through big data: Way to environmental sustainability. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 51, 101769. <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2020.101769>
- Singla, A., & Agrawal, R. (2023). iStage: a deep learning based framework to determine the stage of disaster management cycle from a social media message. *Global Knowledge Memory and Communication*. <https://doi.org/10.1108/gkmc-10-2022-0239>
- Shukla, A., Adwani, N., Choudhury, T., & Dewangan, B. (2021). Geospatial analysis for natural disaster estimation through arduino and node MCU approach. *GeoJournal*,

- 88(S1), 29–45.  
<https://doi.org/10.1007/s10708-021-10496-1>
- Voigt, S., Giulio-Tonolo, F., Lyons, J., Kučera, J., Jones, B., Schneiderhan, T., Platzcek, G., Kaku, K., Hazarika, M. K., Czarán, L., Li, S., Pedersen, W., James, G. K., Proy, C., Muthike, D. M., Bequignon, J., & Guha-Sapir, D. (2016). Global trends in satellite-based emergency mapping. *Science*, 353(6296), 247–252.  
<https://doi.org/10.1126/science.aad8728>
- Voigt, S., Kemper, T., Riedlinger, T., Kiefl, R., Scholte, K., & Mehl, H. (2007). Satellite image analysis for disaster and Crisis-Management support. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 45(6), 1520–1528.  
<https://doi.org/10.1109/tgrs.2007.895830>
- Wang, L., Yang, T., Wang, T., Wang, C., Li, N., & Li, X. (2025). Technical Design of a Low-Latitude Satellite Constellation for Ocean Observation with a Focus on Hainan Province, China. *Sensors*, 25(6), 1710.  
<https://doi.org/10.3390/s25061710>
- Wang, Z., Wang, X., Wu, W., & Li, G. (2023). Continuous change detection of flood extents with multisource heterogeneous satellite image time series. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 61, 1–18.  
<https://doi.org/10.1109/tgrs.2023.3281792>
- Wania, A., Joubert-Boitat, I., Dottori, F., Kalas, M., & Salamon, P. (2021). Increasing timeliness of Satellite-Based flood mapping using early warning systems in the Copernicus Emergency Management Service. *Remote Sensing*, 13(11), 2114.  
<https://doi.org/10.3390/rs13112114>
- Wormenor, S. D., & Asibey, M. O. (2024). Digital technologies for climate-induced disaster risk reduction and management in Ghana: Applicability and operational challenges. *Land Use Policy*, 150, 107459.  
<https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2024.107459>
- Yulianto, E., Utari, P., & Satyawan, I. A. (2020). Communication technology support in disaster-prone areas: Case study of earthquake, tsunami and liquefaction in Palu, Indonesia. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 45, 101457.  
<https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2019.101457>
- Zhang, Y., Chen, W., Huang, B., Zhang, Z., Li, J., Gao, R., Wang, K., & Hu, C. (2024). An event logic graph for geographic environment observation planning in disaster chain monitoring. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 134, 104220.  
<https://doi.org/10.1016/j.jag.2024.104220>