



Aplikasi Teknologi Satelit dalam Penanggulangan Bencana: Perspektif Sains Geospasial dan Resiliensi Nasional



Ire Pratiwi^{1,*}, Asep Adang Supriyadi¹, Yosef Prihanto²

¹Program Studi Teknologi Penginderaan, Universitas Pertahanan Indonesia

²Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN)

*Email: ire.pratiwi@tp.idu.ac.id

DOI: <https://doi.org/10.33369/pendipa.10.1.1-12>

ABSTRACT

[Application of Satellite Technology in Disaster Management: A Geospatial Science and National Resilience Perspective] Climate change, geological activity, and environmental degradation have increased the number of natural disasters in recent years. To mitigate the social, economic, and infrastructure impacts, early disaster detection and mitigation are crucial. Real-time monitoring of geospatial phenomena such as forest fires, floods, and landslides is aided by satellite technology. Combining remote sensing technology with big data and artificial intelligence improves prediction accuracy and enhances rapid disaster response. In addition to disaster mitigation, satellite technology contributes to national resilience by monitoring geospatial threats and regional security, including border surveillance and cyber threat detection. The development of satellite technology in Indonesia faces constraints such as limited budget and human resources, but through strategic investment and collaboration, there is significant potential to increase its independence and resilience. Satellite technology is expected to strengthen national resilience and support sustainable development and public welfare in the face of global threats.

Keywords: Satellite; Disaster; National Resilience, Geospatial.

ABSTRAK

Perubahan iklim, aktivitas geologi, dan kerusakan lingkungan telah meningkatkan jumlah bencana alam dalam beberapa tahun terakhir. Untuk mengurangi efek sosial, ekonomi, dan kerusakan infrastruktur, deteksi dini dan mitigasi bencana sangat penting. Pemantauan *real-time* fenomena geospasial seperti kebakaran hutan, banjir, dan pergerakan tanah dibantu oleh teknologi satelit. Menggabungkan teknologi penginderaan jauh dengan *big data* dan kecerdasan buatan meningkatkan akurasi prediksi dan respons cepat terhadap bencana. Selain mengurangi bencana, teknologi satelit membantu ketahanan nasional dengan memantau ancaman geospasial dan keamanan wilayah, termasuk pengawasan perbatasan dan deteksi ancaman siber. Pengembangan teknologi satelit di Indonesia menghadapi kendala seperti keterbatasan anggaran dan sumber daya manusia, tetapi melalui investasi dan kerja sama strategis, ada potensi besar untuk meningkatkan kemandirian dan ketahanannya. Teknologi satelit diharapkan untuk memperkuat ketahanan nasional dan mendukung pembangunan berkelanjutan dan kesejahteraan masyarakat dalam menghadapi ancaman global.

Kata kunci: Satelit; Bencana Alam; Resiliensi Nasional, Geospasial.

PENDAHULUAN

Frekuensi terjadinya bencana alam pada beberapa tahun terakhir ini relatif meningkat di berbagai wilayah di Dunia. Faktor yang menyebabkan terjadinya peningkatan bencana ini antara lain perubahan iklim, aktivitas lempeng bumi, penurunan kondisi lingkungan dan

eksploitasi secara berlebihan sumber daya alam. Deteksi bencana alam sangat penting untuk respons mitigasi bencana alam, migrasi dengan durasi yang cepat (Handwerger et al., 2022). Gempa bumi, banjir, kebakaran hutan dan tsunami merupakan jenis bencana alam yang sering terjadi di wilayah tropis yang sangat

berdampak pada kehidupan manusia. Bencana ini dapat merusak seluruh infrastruktur negara dan mengganggu kehidupan sosial dan ekonomi pada suatu negara. Langkah mitigasi bencana dapat dilakukan dengan pembuatan sistem peringatan dini, teknologi antisipasi bencana dan peningkatan literasi masyarakat dalam konservasi lingkungan.

Ancaman bencana alam dapat berupa ancaman geospasial dan ancaman geopolitik yang menjadi tantangan besar bagi berbagai negara sehingga mempengaruhi ketahanan dan stabilitas nasional. Ancaman geospasial dapat berupa pengalih fungsian lahan hutan menjadi lahan produktif, fenomena kenaikan muka laut dan perpindahan penduduk. Dalam mitigasi bencana alam dan evaluasi risiko akibat bencana diperlukan studi pendekatan geospasial (Bello et al., 2024). Analisis yang lebih akurat dapat dilakukan dengan pendekatan geospasial pada wilayah-wilayah yang rentan bencana alam sehingga dapat mendukung tata ruang wilayah yang berkelanjutan. Dengan pendekatan ini, studi geospasial bukan hanya produk pemetaan wilayah namun juga dapat digunakan untuk alat pembuat kebijakan strategis dalam mitigasi bencana dan memperkuat ketahanan nasional.

Teknologi penginderaan menggunakan satelit merupakan komponen utama yang mendukung mitigasi bencana alam dan strategi pertahanan nasional. Teknologi penginderaan menggunakan satelit dapat mengidentifikasi dan mengamati perubahan lingkungan seperti kondisi kabut asap secara real-time. Teknologi penginderaan menggunakan satelit menggabungkan berbagai sensor visibel, inframerah, multispektral dan hiperspektral (Thangavel et al., 2023). Data visual dan termal dapat mengambil data wilayah rawan bencana secara spesifik dan mendeteksi perubahannya. Perubahan yang terjadi dapat digunakan sebagai langkah utama dalam mitigasi perubahan lingkungan. Fenomena yang dapat diamati perubahannya antara lain perubahan tinggi muka laut dan suhu permukaan yang dapat digunakan sebagai deteksi dini apabila terjadi bencana alam.

Teknologi penginderaan menggunakan satelit untuk mitigasi bencana alam dapat dipadukan dengan AI (kecerdasan buatan). Keduanya menghasilkan data analitik yang berbasis big data sehingga memungkinkan proses

data dalam jumlah yang besar dengan cepat. Dalam penilaian dampak akibat bencana alam, dapat dilakukan secara kuantitatif maupun kualitatif menggunakan teknologi modern dan teknik geospasial (Emrich et al., 2022). Gabungan dari berbagai teknologi dapat membantu pemerintah dalam mengambil respons cepat apabila terjadi bencana. Bencana alam yang terjadi secara tiba-tiba dapat memperlemah pertahanan negara. Oleh karena itu diperlukan kebijakan terkait mitigasi bencana untuk meningkatkan kesiapsiagaan nasional. Sehingga investasi dan pengembangan penggunaan teknologi satelit sangat berpengaruh dalam memperkuat landasan ketahanan nasional.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini merupakan *literatur review* yang menyajikan pemanfaatan peran sistem satelit dalam mitigasi bencana dalam perspektif sains geospasial dan resiliensi nasional. Metode yang digunakan adalah studi literatur sistematis. Jurnal ilmiah terindeks scopus dari tahun 2000 hingga 2025 yang membahas pemanfaatan teknologi satelit untuk mengurangi bencana dan meningkatkan ketahanan nasional dikumpulkan dan dianalisis. Beberapa basis data internasional menggunakan kata kunci seperti "teknologi satelit", "pencegahan bencana", "ketahanan geospasial", dan "pengenalan jauh dalam manajemen bencana" untuk melakukan pencarian literatur. Artikel yang dipilih harus relevan, menggunakan metodologi empiris atau model terbaru, dan menekankan penggunaan penginderaan jauh dan sistem satelit untuk pemantauan dan mitigasi bencana dan ancaman geospasial. Selanjutnya, analisis kualitatif dilakukan pada data yang dikumpulkan untuk menunjukkan teknologi yang digunakan, integrasi data geospasial, penggunaan AI untuk prediksi bencana, dan strategi mitigasi yang digunakan.

Hasil tinjauan ini disatukan dalam kerangka konseptual yang menghubungkan teknologi satelit dengan upaya mitigasi bencana dan peningkatan ketahanan nasional. Kerangka konseptual ini juga membahas tantangan dan peluang untuk kemajuan teknologi tersebut, serta rekomendasi kebijakan untuk mendukung implementasinya. Selain itu, analisis dan relevansi penelitian diperkuat dengan data

sekunder dari dokumen pendukung dan laporan resmi.



Gambar 1. Kerangka Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Pemanfaatan sistem satelit untuk pemantauan lingkungan akibat bencana

Satelit berperan dalam melakukan penginderaan jauh untuk pemantauan bencana yang menyediakan data dengan resolusi tinggi dan real time sehingga dapat digunakan untuk mitigasi bencana. Untuk penanganan bencana alam, selain satelit observasi bumi, satelit navigasi dan komunikasi juga berperan penting. Sistem navigasi satelit seperti GPS dapat digunakan untuk pemantauan bencana tanah longsor. Teknologi sinyal GNSS sangat sensitif terhadap kelembaban tanah sehingga dapat digunakan untuk memantau kondisi permukaan tanah yang berpotensi untuk terjadi longsor (Zhou et al., 2022). Dengan sensor resolusi tinggi, pola permukaan sebelum dan setelah bencana dapat diamati sehingga penanganan saat terjadi bencana dapat lebih mudah teratasi.

Satelit navigasi seperti GPS dapat mendukung operasi penyelamatan dan pencarian di lokasi akibat bencana dengan memberikan informasi akurat pada wilayah dengan infrastruktur rusak akibat bencana. Selain itu satelit komunikasi juga bermanfaat untuk jaringan informasi kapal, stasiun pesisir dan otoritas maritim sehingga apabila terjadi risiko dengan keselamatan maka akan lebih mudah ditanggulangi (Algarni et al., 2024). Pada jaringan VSAT, komunikasi darurat dapat berjalan sehingga koordinasi antar pihak dapat terus terjalin termasuk peringatan dini kepada masyarakat terutama di area terpencil dan sulit dijangkau.

Sensor satelit dapat berupa sensor aktif dan pasif yang dapat mengamati fenomena geospasial seperti perubahan tutupan lahan, perkembangan banjir dan kebakaran hutan. Satelit sentinel-1, sentinel-2, dan landsat digunakan untuk mengamati banjir yang diolah dengan google earth engine untuk mendukung pembuatan keputusan dalam memberikan informasi kesiapsiagaan dan mitigasi bencana alam (Odiji et al., 2024). Teknologi satelit unggul dalam pemantauan geospasial karena cakupannya yang luas dengan pengambilan data dengan frekuensi yang sering sehingga dapat memantau suatu wilayah dalam jangka waktu yang lama dan wilayah yang sulit terjangkau. Untuk proses mitigasi bencana, satelit juga berperan untuk menentukan wilayah evakuasi. Pengukuran kapasitas evakuasi dapat dinilai dengan data penduduk dan analisis sistem informasi geografis (GIS) serta hasil pengamatan satelit, sehingga dapat dinilai daerah mana yang akan dievakuasi terlebih dahulu dan tidak (Park, 2025). Dengan perkembangan sensor satelit dalam proses penginderaan jauh, hasil data yang diperoleh dapat digunakan untuk analisis yang akurat.

Penggunaan big data dan dikombinasikan dengan *artificial intelligence* (AI) dapat memprediksi bencana dengan akurasi dan kecepatan yang tinggi. Kemajuan teknologi kecerdasan buatan memberikan wawasan dan kesempatan untuk pengembangan deteksi bencana dan tindakan solutif dalam jangka panjang untuk membangun sistem berkelanjutan (Shaddick et al., 2025). Teknologi ini membantu negara dalam menghadapi krisis lingkungan seperti perubahan iklim, polusi dan penurunan sumber daya alam.

Kecerdasan buatan (AI) dapat mengubah pengelolaan data dengan lebih efektif dan berkelanjutan (Belu & Mariniou, 2025). Dengan mengintegrasikan bersama Big data, langkah mitigasi yang dilakukan pemerintah dan pihak terkait dapat lebih cepat dilakukan. Kesiapsiagaan pemerintah dan masyarakat dalam mengambil langkah mitigasi bencana menjadi lebih proaktif dan cepat. Integrasi teknologi satelit dengan internet serta kecerdasan buatan dapat meningkatkan efektivitas untuk pemantauan mitigasi bencana. Fleksibilitas teknologi informasi meningkatkan pembangunan infrastruktur yang berkontribusi pada negara

secara berkelanjutan (Mijbas et al., 2025). Penggabungan dengan teknologi informasi dengan teknologi satelit dapat memantau permukaan bumi dengan skala yang luas dan berkelanjutan dapat membantu prediksi yang lebih akurat dan cepat. Sebagai contoh penginderaan jauh menggunakan *drone* (UAV) yang memberikan gambaran lebih dekat sehingga data dapat dikumpulkan secara langsung dan aktual. Survei menggunakan UAV menghasilkan gambar dengan resolusi tinggi yang menghasilkan gambar detail kondisi sebelum dan sesudah kejadian bencana yang diamati (Massaro et al., 2024).

2. Penggunaan satelit dalam proses mitigasi bencana alam

Teknologi satelit berperan penting dalam mendukung peringatan dini bencana alam. Untuk wilayah Indonesia yang rentan bencana seperti gempa bumi, tsunami dan gunung meletus, peringatan dini ini sangat dibutuhkan untuk melindungi masyarakat. Penggunaan satelit untuk memantau pergerakan lempeng bumi dan sebaran aktivitas debu vulkanik, teknologi penginderaan jauh sangat bermanfaat. Pergerakan tanah dapat diamati oleh satelit sentinel-1 yang mengindikasikan adanya tanah longsor atau aktivitas seismik. Untuk evaluasi kerentanan terjadinya tanah longsor, dapat digunakan dari berbagai sumber seperti karakteristik tanah, kemiringan lereng dan indeks vegetasi (Wu et al., 2025). Selain digunakan untuk pemantauan permukaan bumi, sistem satelit juga dapat digunakan untuk pemantauan kondisi cuaca dan perubahan atmosfer. Satelit yang digunakan adalah satelit cuaca seperti Himawari. Satelit ini memantau perubahan arah angin, awan, suhu muka laut yang dapat memantau kondisi atmosfer sehingga apabila terjadi anomali maka akan dapat diketahui lebih dini. Selain itu satelit

Landsat juga berguna untuk mengamati kekeringan sehingga dapat mendukung sektor pertanian. Data yang bersumber dari satelit himawari dan Landsat ini dapat dikumpulkan dan dianalisis dengan akurat sehingga apabila terjadi bencana maka pemerintah dapat mengambil kebijakan sebagai langkah strategis apabila terjadi bencana. Dengan integrasi sistem informasi geospasial (GIS), manajemen bencana

dapat berjalan dengan baik untuk membantu keputusan dalam mengurangi risiko korban jiwa (Taherizadeh et al., 2023). Sistem peringatan dini berbasis satelit sangat penting untuk dikembangkan di wilayah rawan bencana seperti Indonesia. Dengan menggabungkan data dari pengamatan beberapa satelit dan sensor dan dikelola dengan pemodelan maka akan tercipta teknologi pemodelan yang memungkinkan sistem peringatan dini. Sistem satelit bias digunakan untuk peringatan dini pada kebakaran hutan. Dengan memanfaatkan teknologi satelit, mitigasi bencana alam akan semakin baik dan meningkat sehingga dapat mengurangi kerugian sosial dan ekonomi akibat bencana alam.

Manajemen bencana sangat penting sebagai respons darurat untuk koordinasi pemantauan wilayah, distribusi bantuan dan evaluasi dampak bencana. Teknologi penginderaan menggunakan satelit sangat penting untuk proses manajemen bencana. Dengan memanfaatkan data satelit, dampak perubahan iklim dan pola risiko terjadinya bencana dapat diamati dengan baik (Li et al., 2024). Hasil pengamatan satelit dapat mengidentifikasi daerah rawan bencana dengan akurat sehingga dapat menjadi masukan informasi spasial dengan pola temporal yang real-time dan berguna untuk pengambilan keputusan. sebagai contoh untuk kajian bencana banjir, pemerintah sebagai pihak yang berwenang dapat mengkaji wilayah terdampak berdasarkan data satelit. Integrasi data satelit dan sistem informasi geografis membantu analisis risiko penyusunan strategi kebijakan mitigasi bencana. hal tersebut menunjukkan bahwa gabungan teknologi tersebut sangat membantu pemerintah dalam pencegahan dan pemulihan pasca bencana alam.

Risiko bencana banjir meningkat pesat seiring dengan pemekaran wilayah perkotaan yang menyalahi aturan tata kota diiringi dengan perubahan iklim (Aloscious et al., 2025). Terdapat banyak wilayah yang berfungsi sebagai resapan air berubah fungsi menjadi bangunan pemukiman penduduk sehingga merusak tata wilayah. Ruang gerak air dan resapan semakin berkurang sehingga meningkatkan potensi genangan dan akhirnya menimbulkan banjir. Perubahan iklim global menyumbang potensi kejadian bencana karena kenaikan suhu muka laut. Meningkatnya curah hujan yang ekstrem

lebih sering terjadi. Dengan dukungan menerakan sistem pemantauan menggunakan satelit, mitigasi risiko bencana banjir akan lebih mudah dilakukan. Tanpa mitigasi yang tepat kerugian akan lebih mudah terjadi baik secara ekonomi maupun sosial. Pendekatan integrasi untuk menyelesaikan masalah ini dapat terwujud dengan pemanfaatan data satelit secara *real time*. Selain itu perlu adanya penegakan hukum tentang tata wilayah sehingga risiko bencana banjir akan lebih mudah dihadapi dalam jangka panjang.

Pemulihan pasca bencana dan rekonstruksi harus dilakukan dengan data yang akurat. Data satelit digunakan sebagai data utama untuk fase tanggap darurat ini. Data penginderaan jauh satelit dimasukkan ke dalam proses pengambilan keputusan dalam penilaian kerusakan, proses pemulihan pasca bencana, dan penilaian kerusakan pada kerusakan daratan, tanah longsor dan, bencana di wilayah pesisir (Marlier et al., 2022). Pemetaan kerusakan dilakukan dengan membandingkan kondisi permukaan bumi sebelum kejadian bencana dan setelahnya. Satelit yang digunakan antara lain satelit sentinel-1 dan landsat. Satelit tersebut mampu melihat perbedaan yang signifikan di suatu wilayah yang terdampak bencana seperti hancurnya bangunan, perubahan garis pantai saat gempa dan tsunami atau kebakaran hutan. Dengan hasil analisis citra ini pemerintah mampu mengambil langkah cepat untuk mengirimkan bantuan pada daerah yang terdampak.

Variabilitas faktor lingkungan dan kondisi bencana alam merupakan beberapa faktor yang mempengaruhi kehidupan sosial-ekonomi masyarakat (Yao et al., 2024). Seperti karakteristik vegetasi dapat mempengaruhi terjadinya kebakaran hutan. Pemetaan kerusakan akibat bencana kebakaran menggunakan data satelit yang juga berperan dalam perencanaan rehabilitasi. Data satelit digunakan untuk membangun kembali infrastruktur yang rusak dan dirancang untuk tahan bencana serta menentukan daerah pengungsian atau relokasi yang aman bagi masyarakat yang terdampak. Selain itu data satelit juga digunakan untuk perencanaan pemulihan lingkungan. Sebagai contoh adalah rekonstruksi wilayah terdampak gempa seperti di Palu. Data satelit membantu memetakan wilayah yang mengalami pergerakan

tanah sehingga pemukiman baru dapat dibangun menjauhi lokasi yang rawan bencana. teknologi penginderaan dapat mendukung pengembalian ekosistem ke keadaan semula sehingga kerugian ekonomi dapat diminimalkan. Pemulihan pasca bencana dapat dilakukan dengan efektif berdasarkan data yang real-time dan akurat.

Perencanaan dan pelaksanaan pembangunan kembali wilayah pasca bencana alam menjadi tujuan utama pemerintah untuk mengembalikan kesejahteraan masyarakat. Studi tentang tren dan variabilitas lingkungan mendukung ketahanan nasional dalam jangka panjang (Wolniak & Grebski, 2025). Studi yang mendalam tentang perubahan lingkungan mendukung rancangan strategi kebijakan pemerintah akibat dinamika alam agar cepat tanggap terhadap ancaman bencana alam yang mempengaruhi pertahanan nasional. Penggabungan berbagai teknologi sangat penting untuk dilakukan sehingga pemantauan wilayah dan kondisi lingkungan dapat dilakukan dengan baik. Berbagai pihak harus saling bekerja sama apabila terjadi bencana. Pemerintah dan masyarakat harus bersatu dalam menanggulangi proses rehabilitasi bencana. hal tersebut bertujuan agar pembangunan tetap berjalan untuk menghadapi tantangan di masa yang akan datang.

Rehabilitasi infrastruktur terdiri dari berbagai hal yang tidak terpisahkan. Seperti desain ulang tata wilayah, tata ruang kota, perbaikan jalan, dan pembangunan kembali fasilitas umum. Pembangunan kembali bukanlah hal yang mudah dilakukan. Di tengah wilayah yang terjadi bencana, data satelit berperan penting dalam menentukan wilayah aman. Hal ini disebabkan karena ancaman bencana alam tersebut dapat terjadi kembali di waktu yang akan datang. Memahami variabilitas spasial sangat penting untuk mengatur kembali fungsi sosial-ekonomi masyarakat setelah bencana (Paul et al., 2024). Di masa yang akan datang diharapkan pembangunan infrastruktur dapat lebih adaptif dan tangguh terhadap ancaman potensi bencana. sehingga ketahanan masyarakat terhadap ancaman dapat lebih kuat sehingga perkembangan sosial dan ekonomi masyarakat tetap berjalan dengan baik dan berkelanjutan.

3. Potensi ancaman geospasial terhadap resiliensi nasional

Resiliensi nasional adalah kemampuan suatu negara untuk menyesuaikan diri, bertahan dan pulih kembali dari serangan dan ancaman yang mempengaruhi stabilitas dan kesejahteraan nasional negara. Ketahanan nasional diukur berdasarkan rasio kekuatan negara terhadap kerentanan terhadap ancaman (Mendelson et al., 2010). Ancaman terhadap ketahanan negara tidak hanya ancaman konvensional seperti peperangan militer namun juga terdapat ancaman geospasial yang berasal dari dinamika kondisi wilayah dan bencana alam. Keamanan nasional yang berdasarkan geospasial menekankan bahwa kondisi spasial, sebaran dan hubungan antara kondisi geografi untuk menjaga pertahanan negara dan keamanan nasional. Teknik geospasial dapat digunakan untuk melakukan pengamatan, perencanaan dan analisis potensi bencana baik di darat, laut maupun udara secara sinergis. Berbagai faktor yang termasuk ancaman geospasial antara lain perubahan iklim, perubahan vegetasi, kebakaran hutan, gempa bumi dan tsunami. Selain faktor alam tersebut, faktor non alam juga berpengaruh seperti serangan siber yang mengancam basis informasi nasional dan eksploitasi sumber daya alam oleh pihak luar.

Faktor alam yang mempengaruhi terjadinya bencana antara lain adalah perubahan iklim. Perubahan iklim memicu terjadinya bencana hidrometeorologi sehingga jadi lebih sering di wilayah Indonesia. Kenaikan tinggi muka laut menyebabkan banjir di wilayah pesisir pantai dan menyebabkan bencana kekeringan di wilayah lainnya. Hal ini sangat mempengaruhi kondisi ketahanan pangan suatu negara. Perkembangan teknologi juga mengancam rahasia negara. Ancaman siber dapat melakukan pengintaian terhadap kondisi negara sehingga memungkinkan aktivitas ilegal negara lain, peretasan komunikasi sehingga merugikan negara. Sehingga kemampuan resiliensi nasional sangat dipengaruhi oleh ketahanan terhadap ancaman geospasial untuk keamanan negara dalam jangka panjang dan menyeluruh.

Ketahanan nasional setiap negara bergantung pada variabilitas negara dan ekologis masing-masing (Ballada et al., 2022). Dalam mendukung ketahanan nasional, satelit dapat memberikan data untuk pertahanan dan keamanan nasional. Lembaga pertahanan selaku

pemegang tugas melakukan pengamatan dan pengawasan di seluruh wilayah negara dan wilayah perbatasan. Teknologi penginderaan berperan dalam membantu pengamatan menyeluruh di seluruh wilayah termasuk daerah perbatasan dan daerah terpencil. Dengan teknologi penginderaan menggunakan satelit, wilayah yang memiliki potensi kerawanan terhadap serangan asing dapat dipantau sehingga intervensi negara luar dapat dideteksi sejak dini. Selain itu digunakan pula satelit komunikasi yang dapat memfasilitasi segala pihak dalam berkomunikasi seperti koordinasi militer, bencana alam dan misi penyelamatan sehingga segala kegiatan operasi akan berjalan efektif.

Pada wilayah perbatasan, dengan data satelit resolusi tinggi aktivitas penyelundupan dan pelanggaran di wilayah perbatasan dapat diamati secara langsung. Pelanggaran wilayah tergantung pada tingkat kesulitan wilayah (Hollifield et al., 2021). Hal tersebut termasuk kasus pelanggaran zona ekonomi eksklusif (ZEE) atau upaya infiltrasi negara lain. Selain ancaman konvensional pelanggaran wilayah, satelit juga berperan untuk menghadapi ancaman non konvensional seperti memantau jaringan komunikasi dan menjaga dari serangan siber terhadap sistem informasi negara. Negara harus dapat memanfaatkan satelit untuk menghadapi segala serangan baik konvensional maupun non konvensional sehingga pertahanan negara tetap kuat dan proaktif dalam menghadapi ancaman. Indonesia yang memiliki wilayah sangat luas diharapkan dapat mengembangkan teknologi satelit agar tidak tergantung dengan negara lain, selain itu hal ini juga untuk mencegah praktik pencurian data negara yang mengancam kedaulatan negara.

Hasil data pengamatan satelit yang berupa data geospasial maupun data dari pengamatan drone menjadi aset penting dalam mendukung pengambilan keputusan strategis untuk pertahanan nasional. Isu utama dalam pembangunan teknologi berkelanjutan akan berkontribusi pada peningkatan keamanan lingkungan (Opryshko et al., 2025). Dengan data ini pengamatan lingkungan dapat dilakukan secara real-time dan akurat. Data yang didapatkan seperti data tutupan lahan, wilayah kebakaran hutan, pencemaran laut maupun kerusakan ekosistem, dengan data tersebut,

rancangan kebijakan strategis dapat disusun sehingga membantu pemerintah dalam menanggulangi bencana, konservasi lingkungan dan pembangunan jangka panjang.

Dalam sektor perlindungan sumber daya alam, data informasi geospasial dapat dimanfaatkan untuk memantau potensi dan pemanfaatan sumber daya alam seperti hasil tambang, hutan dan sektor perairan. Pemerintah dapat memantau dan menghindari eksploitasi yang berlebihan sehingga sumber daya alam nasional dapat dikelola dengan baik dan efisien. Informasi geospasial juga berperan dalam membantu untuk respons cepat apabila terjadi bencana sehingga distribusi bantuan bagi korban bencana alam, penyelamatan dan pembangunan kembali infrastruktur dapat berjalan lebih cepat dan efektif. Saat ini terjadi pergeseran paradigma bahwa kerentanan dan ketahanan oleh bencana alam dianggap sebagai kejadian yang tidak wajar (Noy & Yonson, 2018). Pengelolaan data informasi geospasial ini diharapkan dapat terintegrasi dengan semua lembaga di pemerintahan seperti kementerian lingkungan hidup, pertahanan dan perhubungan agar semua kegiatan operasi di masyarakat dapat berjalan dengan baik dan efektif. Tantangan yang lebih besar akan muncul yaitu terkait sistem kerja antar lembaga dan keterbatasan sumber daya manusia yang dapat mengelola dan memanfaatkan hasil data informasi hasil data geospasial dengan baik dan tepat.

Kerja sama antar lembaga dalam perumusan kebijakan nasional sangat penting untuk mendukung pertahanan nasional. Ketahanan nasional menjadi kategori analitis dalam sebagian besar ilmu sosial (Helled & Pala, 2024). Pemerintah harus dapat membentuk sistem kerja dengan memanfaatkan informasi geospasial untuk menciptakan kondisi ketahanan negara yang kuat. Untuk wilayah Indonesia pemerintah berupaya mengintegrasikan data informasi geospasial dari berbagai sektor. Hal tersebut bertujuan agar penyusunan rencana kebijakan pembangunan dengan basis data informasi geospasial dapat terkoordinasi dengan baik dan konsisten. Pengembangan teknologi satelit juga penting sehingga kolaborasi pemerintah dan lembaga riset harus berjalan dengan baik. Selain kerja sama dalam negeri, kerja sama internasional juga berperan penting untuk

pengembangan teknologi. Pemerintah Indonesia harus mengembangkan hubungan strategis antar negara sehingga terjadi transfer teknologi, peningkatan sumber daya manusia dan pengembangan teknologi satelit. Dalam menghadapi bencana alam, kerja sama regional dengan memanfaatkan teknologi satelit negara lain juga terbukti mampu meningkatkan kemampuan negara dalam mitigasi risiko bencana alam.

Tantangan dalam negeri terkait pengembangan teknologi satelit adalah keterbatasan anggaran. Selain itu ketergantungan nasional terhadap teknologi asing juga berperan besar dalam menghambat pembangunan teknologi ini. Di sisi lain dukungan infrastruktur juga sangat penting. Tidak bisa dipungkiri bahwa investasi negara lain sangat berperan dalam pemanfaatan teknologi ini. Dengan investasi negara asing, riset informasi geospasial akan berkembang dan mendorong kemajuan teknologi. Peran pemerintah adalah menciptakan regulasi terkait investasi luar agar tetap menjaga keamanan negara yang berbasis informasi geospasial. Ancaman geospasial dapat menjadi ancaman dinamika keamanan nasional. Negara yang memiliki resiliensi nasional terhadap ancaman dalam dan luar negeri dapat mempertahankan kedaulatannya, melindungi masyarakat dan memanfaatkan sumber daya secara efektif dan berkelanjutan. Ketahanan dalam konteks teoritis menjelaskan dan memprediksi variasi ketahanan negara dalam menghadapi ancaman (Kimhi et al., 2021). Dengan satelit dan data geospasial serta kerja sama antar lembaga menjadi aspek utama untuk mendukung pertahanan nasional negara secara modern dan adaptif di era perkembangan jaman. Indonesia dapat memperkuat sistem informasi geospasial dalam mewujudkan pertahanan nasional yang kuat dan tangguh dari ancaman dalam dan luar negeri.

4. Perumusan kebijakan dan Pembangunan infrastruktur di Indonesia

Sistem teknologi satelit berperan dalam pembangunan nasional. Satelit memegang kendali pada sektor komunikasi, teknologi penginderaan jauh, penanganan bencana alam dan penguatan pertahanan negara. Indonesia sebagai negara yang bergantung pada teknologi

satelit mengembangkan berbagai lembaga riset seperti BRIN yang berfokus pada pengembangan satelit dan teknologi luar angkasa. Selain itu peluncuran mikro satelit dan pemanfaatannya dilakukan oleh lembaga ini untuk kepentingan negara. Selain itu juga dikembangkan program nasional yang mendukung komunikasi di wilayah terpencil sehingga daerah tertinggal dapat menikmati layanan internet. BMKG memanfaatkan satelit cuaca Himawari dalam mendukung sistem peringatan dini bencana hidrometeorologi di wilayah Indonesia. Dengan adanya peringatan intensitas cuaca akan bermanfaat untuk mencegah dan mengurangi dampak bencana (Song et al., 2024).

Di Indonesia, kesiapan teknologi dan infrastruktur masih dalam kondisi terbatas. Indonesia masih tergantung pada negara lain untuk peluncuran satelit dan fasilitas pembangunan teknologi masih terbatas. Apabila dibandingkan dengan negara-negara maju seperti Amerika Serikat dan Eropa, Indonesia jauh tertinggal sehingga perlu studi lebih lanjut untuk pengembangan teknologi satelit. Indonesia harus dapat mengejar ketinggalan teknologi dengan mengembangkan sistem teknologi satelit nasional yang kuat dan mandiri untuk mendukung ketahanan nasional. Untuk mendukung hal tersebut maka diperlukan manajemen risiko yang ideal dan dibangun untuk meningkatkan penanganan risiko yang sedang berlangsung (Kim et al., 2023).

Tantangan dalam pengembangan dan pemanfaatan teknologi satelit sangat besar di wilayah Indonesia. Wilayah Indonesia yang terdiri dari tiga dimensi yaitu darat, laut dan udara harus dapat dilindungi agar keamanan negara dapat terjaga (Puspitawati et al., 2023). Hal yang utama adalah tantangan teknis dan ketersediaan anggaran. Pengembangan teknologi satelit membutuhkan investasi yang besar dan dalam jangka waktu yang lama. Selain itu biaya pemeliharaan dan komunikasi penunjang dinilai cukup tinggi, sehingga memerlukan anggaran negara yang sangat besar. Dengan keterbatasan anggaran, Indonesia lebih mengutamakan pembangunan di sektor lain sehingga pengembangan teknologi satelit dinilai kurang optimal.

Selain itu ketergantungan teknologi yang disediakan negara lain membuat aspek keamanan

data negara dan ancaman siber menjadi krusial dalam mempertahankan kedaulatan negara. Satelit dapat digunakan sebagai alat untuk melakukan serangan pertahanan negara. Satelit dapat disusupi dan berdampak pada keamanan nasional sehingga sangat mengancam pertahanan negara. Tantangan lainnya yang dihadapi adalah kurangnya sumber daya manusia yang kompeten dalam mengembangkan dan memanfaatkan teknologi satelit. Jumlah dan kualitas tenaga ahli satelit belum mencukupi kebutuhan walaupun banyak lembaga riset di Indonesia yang telah melakukan pendidikan dan pelatihan teknologi satelit.

Walaupun pengembangan teknologi satelit di Indonesia mengalami berbagai tantangan, namun peluang untuk membangun teknologi kemandirian dan ketahanan nasional masih terbuka lebar. Dengan kebijakan peningkatan investasi dan pengembangan sumber daya alam serta dukungan internasional, sistem teknologi satelit dapat berkembang dengan baik dan mendukung pembangunan nasional yang efektif dan jangka panjang. Pengembangan teknologi satelit ini tidak hanya mendukung kemajuan teknologi namun pengembangan ini mendukung kedaulatan informasi, ketahanan terhadap bencana alam dan pertahanan negara Indonesia yang memiliki wilayah luas dan strategis. Sehingga dengan implementasi teknologi satelit diharapkan dapat mendukung visi Indonesia untuk menjadi negara mandiri dengan ketahanan negara yang kuat dalam jangka panjang. Yang pada akhirnya mewujudkan ketahanan nasional dan kesejahteraan masyarakat di era global.

Strategi penguatan sistem satelit nasional diperlukan untuk mendukung pertahanan negara yang kuat. Dalam program mitigasi bencana, pemerintah Indonesia perlu membuat kebijakan pendukung untuk pemanfaatan operasi satelit dalam memantau wilayah Indonesia secara terus-menerus dan berkelanjutan. Dengan menggabungkan kecerdasan buatan dan teknologi satelit dapat secara signifikan membantu manajemen bencana melalui penggunaan model prediktif yang mengidentifikasi pola bencana (Albahri et al., 2024). Satelit cuaca berperan dalam mengamati kejadian cuaca ekstrem, pengamatan iklim dan kondisi suhu permukaan laut untuk penyusunan peringatan dini apabila terjadi bencana alam.

Dengan pengamatan kondisi secara real-time diharapkan dapat memberikan respons cepat apabila terjadi bencana sehingga dapat mengurangi dampak kerugian sosial dan ekonomi di masyarakat. Selain itu perlu adanya pelatihan mitigasi bencana sebagai solusi dalam konteks pengembangan masyarakat (Nirwansyah et al., 2024).

Dalam mendukung resiliensi nasional perlu adanya rancangan kebijakan strategis nasional dalam mendorong investasi untuk pengembangan teknologi satelit dalam jangka panjang. Pemerintah diharapkan mengalokasikan dana pengembangan lebih besar untuk teknologi satelit sehingga tercipta ekosistem teknologi yang baik dan berkelanjutan. Pembentukan badan khusus pengembangan teknologi satelit diharapkan dapat memberikan kewenangan regulatif dan operasional dalam pemanfaatan teknologi satelit. Selain itu penguatan kerja sama dengan militer untuk mendukung pertahanan negara dengan memanfaatkan teknologi satelit sangat berperan penting. Dengan keseragaman kerja sama antar lembaga di pemerintahan diharapkan dapat mendukung program bersama (Aravidou et al., 2025). Data informasi geospasial yang tepat, akurat dan real-time dapat mendukung strategi pertahanan nasional. Hal ini termasuk deteksi ancaman pada daerah perbatasan, pengawasan zona perairan dan keamanan komunikasi di sektor militer. Pada wilayah perbatasan terutama zona perairan sangat rentan masalah pencurian sumber daya oleh negara lain

Pengembangan sistem satelit nasional harus didukung dengan investasi yang berkelanjutan. Pemerintah diharapkan dapat meningkatkan alokasi anggaran untuk pengembangan riset teknologi satelit dalam rencana pembangunan dalam jangka panjang nasional. Di sisi lain, perlu adanya dukungan sektor swasta untuk pengembangan teknologi satelit nasional sehingga pengolahan data informasi geospasial. Dukungan investasi dapat digunakan untuk pengembangan sumber daya manusia dengan adopsi praktik yang bertujuan untuk mengatasi tantangan berkelanjutan (Mahar et al., 2025). Kerja sama antar lembaga diharapkan dapat menghasilkan tenaga ahli dan siap bekerja untuk mendukung teknologi satelit nasional. Indonesia harus bisa menjalin kerja sama internasional untuk pengembangan teknologi dan pelatihan

sumber daya manusia. Kerja sama dengan negara maju yang memiliki pengalaman panjang dalam teknologi satelit diharapkan dapat meningkatkan percepatan teknologi nasional. Kerja sama ini dapat diwujudkan dengan program riset bersama sehingga pengembangan teknologi penginderaan menggunakan satelit dapat berjalan dengan baik.

KESIMPULAN

Frekuensi terjadinya bencana alam pada beberapa tahun terakhir ini relatif meningkat di berbagai wilayah di Dunia. Langkah mitigasi bencana dapat dilakukan dengan pembuatan sistem peringatan dini, teknologi antisipasi bencana dan peningkatan literasi masyarakat dalam konservasi lingkungan. Ancaman bencana alam dapat berupa ancaman geospasial dan ancaman geopolitik yang menjadi tantangan besar bagi berbagai negara sehingga mempengaruhi ketahanan dan stabilitas nasional. Ancaman geospasial dapat berupa pengalih fungsian lahan hutan menjadi lahan produktif, fenomena kenaikan muka laut dan perpindahan penduduk. Teknologi satelit berperan penting dalam pengamatan geospasial dengan penginderaan jauh.

Berbagai faktor yang termasuk ancaman geospasial antara lain perubahan iklim, perubahan vegetasi, kebakaran hutan, gempa bumi dan tsunami. Kemampuan resiliensi nasional sangat dipengaruhi oleh ketahanan terhadap ancaman geospasial untuk keamanan negara dalam jangka panjang dan menyeluruh. Dengan teknologi penginderaan menggunakan satelit, wilayah yang memiliki potensi kerawanan terhadap serangan asing dapat dipantau sehingga intervensi negara luar dapat dideteksi sejak dini. Selain itu digunakan pula satelit komunikasi yang dapat memfasilitasi segala pihak dalam berkomunikasi seperti koordinasi militer, bencana alam dan misi penyelamatan sehingga segala kegiatan operasi akan berjalan efektif. Kerja sama antar lembaga diharapkan dapat menghasilkan tenaga ahli dan siap bekerja untuk mendukung teknologi satelit nasional. Indonesia dapat memperkuat sistem informasi geospasial dalam mewujudkan pertahanan nasional yang kuat dan tangguh dari ancaman dalam dan luar negeri.

DAFTAR PUSTAKA

- Albahri, A. S., Khaleel, Y. L., Habeeb, M. A., Ismael, R. D., Hameed, Q. A., Deveci, M., Homod, R. Z., Albahri, O. S., Alamoodi, A. H., & Alzubaidi, L. (2024). A systematic review of trustworthy artificial intelligence applications in natural disasters. *Computers and Electrical Engineering*, 118(PB), 109409. <https://doi.org/10.1016/j.compeleceng.2024.109409>
- Algarni, A., Acarer, T., & Ahmad, Z. (2024). An Edge Computing-Based Preventive Framework With Machine Learning-Integration for Anomaly Detection and Risk Management in Maritime Wireless Communications. *IEEE Access*, 12, 53646–53663. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2024.3387529>
- Aloscious, A. A., Artuso, M., & Torabi Moghadam, S. (2025). Nature-Based Solutions for Flood Mitigation: The Case Study of Kochi. *Sustainability (Switzerland)*, 17(5). <https://doi.org/10.3390/su17051983>
- Aravidou, K., Triantari, S., & Zervas, I. (2025). Sustainable Leadership and Conflict Management: Insights from Greece's Public Sector. *Sustainability (Switzerland)*, 17(5), 1–25. <https://doi.org/10.3390/su17052248>
- Ballada, C. J. A., Aruta, J. J. B. R., Callueng, C. M., Antazo, B. G., Kimhi, S., Reinert, M., Eshel, Y., Marciano, H., Adini, B., da Silva, J. D., & Verdu, F. C. (2022). Bouncing back from COVID-19: Individual and ecological factors influence national resilience in adults from Israel, the Philippines, and Brazil. *Journal of Community and Applied Social Psychology*, 32(3), 452–475. <https://doi.org/10.1002/casp.2569>
- Bello, M., Singh, S., Singh, S. K., Pandey, V., Kumar, P., Meraj, G., Kanga, S., & Sajan, B. (2024). Geospatial Analysis of Flood Susceptibility in Nigeria's Vulnerable Coastal States: A Detailed Assessment and Mitigation Strategy Proposal. *Climate*, 12(7). <https://doi.org/10.3390/cli12070093>
- Belu, M. G., & Marinoiu, A. M. (2025). AI-Enabled Supply Chain Management: A Bibliometric Analysis Using VOSviewer and RStudio Bibliometrix Software Tools. *Sustainability (Switzerland)*, 17(5). <https://doi.org/10.3390/su17052092>
- Emrich, C. T., Zhou, Y., Aksha, S. K., & Longenecker, H. E. (2022). Creating a Nationwide Composite Hazard Index Using Empirically Based Threat Assessment Approaches Applied to Open Geospatial Data. *Sustainability (Switzerland)*, 14(5). <https://doi.org/10.3390/su14052685>
- Handwerger, A. L., Huang, M. H., Jones, S. Y., Amatya, P., Kerner, H. R., & Kirschbaum, D. B. (2022). Generating landslide density heatmaps for rapid detection using open-access satellite radar data in Google Earth Engine. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 22(3), 753–773. <https://doi.org/10.5194/nhess-22-753-2022>
- Helled, A., & Pala, C. (2024). When Nations Adapt: National Resilience between State(s) and Identity(ies). *Political Studies Review*, 22(1), 93–107. <https://doi.org/10.1177/14789299221144620>
- Hollifield, M., Toolson, E. C., Verbillis-Kolp, S., Farmer, B., Yamazaki, J., Woldehaimanot, T., & Holland, A. (2021). Distress and resilience in resettled refugees of war: Implications for screening. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(3), 1–15. <https://doi.org/10.3390/ijerph18031238>
- Kim, D. J., Sur, J. M., & Cho, H. U. (2023). A long term expected risk estimation of maritime accidents through Markov chain approach and probabilistic risk matrix. *Asian Journal of Shipping and Logistics*, 39(3), 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.ajsl.2023.04.002>
- Kimhi, S., Eshel, Y., Marciano, H., & Adini, B. (2021). Fluctuations in national resilience during the covid-19 pandemic. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(8), 1–11. <https://doi.org/10.3390/ijerph18083876>
- Li, H., Yang, D., Zhu, Z., Wei, Y., Zhou, Y., Ishidaira, H., Commey, N. A., & Cheng, H. (2024). Flood Risk Analysis of Urban Agglomerations in the Yangtze River Basin

- Under Extreme Precipitation Based on Remote Sensing Technology. *Remote Sensing*, 16(22), 4289. <https://doi.org/10.3390/rs16224289>
- Mahar, A. S., Zhang, Y., Sadiq, B., & Gul, R. F. (2025). Sustainability Transformation Through Green Supply Chain Management Practices and Green Innovations in Pakistan's Manufacturing and Service Industries. *Sustainability (Switzerland)*, 17(5), 1–28. <https://doi.org/10.3390/su17052204>
- Marlier, M. E., Resetar, S. A., Lachman, B. E., Anania, K., & Adams, K. (2022). Remote sensing for natural disaster recovery: Lessons learned from Hurricanes Irma and Maria in Puerto Rico. *Environmental Science and Policy*, 132(February), 153–159. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2022.02.023>
- Massaro, L., Forte, G., De Falco, M., Rauseo, F., & Santo, A. (2024). Rockfall source identification and trajectory analysis from UAV-based data in volcano-tectonic areas: a case study from Ischia Island, Southern Italy. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 83(3), 75. <https://doi.org/10.1007/s10064-024-03569-1>
- Mendelson, T., Turner, A. K., & Tandon, S. D. (2010). Social Class As Moderator of the Relationship Between (Dis)Empowering Processes and Psychological Empowerment. *Journal of Community Psychology*, 38(5), 607–621. <https://doi.org/10.1002/jcop>
- Mijbas, H. A., Islam, M. K., & Khudari, M. (2025). The Role of IT Flexibility in Enhancing Supply Chain Resilience in the Oil Products Distribution Sector. *Sustainability (Switzerland)*, 17(5). <https://doi.org/10.3390/su17052295>
- Nirwansyah, A. W., Mandili, A., Inez-Pedro, B., Aini, J., Sriyanto, S., & Sadeli, E. H. (2024). Using Spatial Literacy for Disaster Management in Coastal Communities of Small Island Developing States (SIDS): A Case Study from Lavongai, Papua New Guinea. *Sustainability*, 16(21), 9152. <https://doi.org/10.3390/su16219152>
- Noy, I., & Yonson, R. (2018). Economic vulnerability and resilience to natural hazards: A survey of concepts and measurements. *Sustainability (Switzerland)*, 10(8). <https://doi.org/10.3390/su10082850>
- Odiji, C., James, G., Oyewumi, A., Karau, S., Odia, B., Idris, H., Aderoju, O., & Taminu, A. (2024). Decadal mapping of flood inundation and damage assessment in the confluence region of Rivers Niger and Benue using multi-sensor data and Google Earth Engine. *Journal of Water and Climate Change*, 15(2), 348–369. <https://doi.org/10.2166/wcc.2024.166>
- Opryshko, O., Kiktev, N., Shvorov, S., Hluhan, F., Polishchuk, R., Murakhovskiy, M., Hutsol, T., Glowacki, S., Nurek, T., & Sojak, M. (2025). Evaluation of Promising Areas for Biogas Production by Indirect Assessment of Raw Materials Using Satellite Monitoring. *Sustainability (Switzerland)*, 17(5), 1–23. <https://doi.org/10.3390/su17052098>
- Park, J. W. (2025). An Analysis of the Capacity of Outdoor Earthquake Evacuation Sites in Daegu, South Korea: Assessing De Facto Population Dynamics and Accessibility Through the Geographic Information System (GIS). *Sustainability (Switzerland)*, 17(5). <https://doi.org/10.3390/su17052129>
- Paul, S., Sharma, P. J., & Teegavarapu, R. S. V. (2024). Spatial assessment of the reproducibility of Indian summer monsoon rainfall regimes in multiple gridded rainfall products. *Scientific Reports*, 14(1), 1–13. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-75320-5>
- Puspitawati, D., Prakoso, L. Y., Kusumaningrum, A., & Harahab, N. (2023). Reconstruction of State Territorial Management to Optimize National Resilience in Indonesia. *Legality: Jurnal Ilmiah Hukum*, 31(1), 21–41. <https://doi.org/10.22219/ljih.v31i1.23636>
- Shaddick, G., Topping, D., Hales, T. C., Kadri, U., Patterson, J., Pickett, J., Petri, I., Taylor, S., Li, P., Sharma, A., Venkatkrishnan, V., Wadhwa, A., Ding, J., Bowyer, R., & Rana, O. (2025). Data Science and AI for Sustainable Futures: Opportunities and Challenges. *Sustainability (Switzerland)*,

- 17(5), 1–20.
<https://doi.org/10.3390/su17052019>
- Song, T., Yang, K., Li, X., Peng, S., & Meng, F. (2024). Probabilistic Estimation of Tropical Cyclone Intensity Based on Multi-Source Satellite Remote Sensing Images. *Remote Sensing*, 16(4), 1–19.
<https://doi.org/10.3390/rs16040606>
- Taherizadeh, M., Niknam, A., Nguyen-Huy, T., Mezösi, G., & Sarli, R. (2023). Flash flood-risk areas zoning using integration of decision-making trial and evaluation laboratory, GIS-based analytic network process and satellite-derived information. In *Natural Hazards* (Vol. 118, Issue 3, pp. 2309–2335).
<https://doi.org/10.1007/s11069-023-06089-5>
- Thangavel, K., Spiller, D., Sabatini, R., Amici, S., Sasidharan, S. T., Fayek, H., & Marzocca, P. (2023). Autonomous Satellite Wildfire Detection Using Hyperspectral Imagery and Neural Networks: A Case Study on Australian Wildfire. *Remote Sensing*, 15(3).
<https://doi.org/10.3390/rs15030720>
- Wolniak, R., & Grebski, W. W. (2025). Sustainable Trends and Determinants of Wheat Cultivation in Poland (2004–2023): A Spatiotemporal Analysis of Productivity, Resilience, and Climate Adaptation. *Sustainability (Switzerland)*, 17(5), 1–35.
<https://doi.org/10.3390/su17052225>
- Wu, Z., Ye, R., Huang, J., Fu, X., & Chen, Y. (2025). Evaluation of Rainfall-Induced Accumulation Landslide Susceptibility Based on Remote Sensing Interpretation. *Remote Sensing*, 17(2).
<https://doi.org/10.3390/rs17020339>
- Yao, M., Zhang, D., Chen, Y., Liu, Y., & Elsadek, M. (2024). Urban Fire Risk Dynamics and Mitigation Strategies in Shanghai: Integrating Spatial Analysis and Game Theory. *Land*, 13(8).
<https://doi.org/10.3390/land13081125>
- Zhou, X., Zhang, S., Zhang, Q., Liu, Q., Ma, Z., Wang, T., Tian, J., & Li, X. (2022). Research of Deformation and Soil Moisture in Loess Landslide Simultaneous Retrieved with Ground-Based GNSS. *Remote Sensing*, 14(22).
<https://doi.org/10.3390/rs14225687>