



THE 5th SAIZU INTERNATIONAL CONFERENCE

ON TRANSDISCIPLINARY RELIGIOUS STUDIES (ICONTREES)

"Beyond the Cosmos : Transdisciplinary Perspectives on Ecotheology and Global Sustainability"

SLAMETWATCH PENDEKATAN EKOTEOLOGI DAN SPATIAL DATA SCIENCE UNTUK RESTORASI PLANET DAN MITIGASI BENCANA KAWASAN VULKANIK GUNUNG SLAMET

Muhammad Zaidan Nafis¹, Mutia Mahacahaya², Eko Fajar Setiawan³, Dimas Indianto⁴

¹TECRS, Saudi Arabia | ²Universitas Jenderal Soedirman, Indonesia | ³Badan Pangan Nasional, Indonesia; | ⁴UIN Prof. K.H. Saifuddin Zuhri Purwokerto, Indonesia

Email: fajare384@gmail.com

Abstract

This study redefines ecological rehabilitation in the upstream area of Mount Slamet through an ecotheological lens, framing environmental degradation not merely as a spatial crisis but as a disruption of cosmic stewardship (khalifah). Driven by unconstrained land-use changes and the lack of data-driven monitoring, this research develops SlametWatch, an integrated WebGIS platform designed within the framework of technology for planet restoration. Utilizing a Full-Stack Spatial Data Science methodology, the study integrates Sentinel-2 imagery, SRTM topographic data, and disaster datasets. Land cover classification is performed via the Random Forest algorithm, while land-use projection up to 2035 is modeled using Artificial Neural Networks and Cellular Automata-Markov. Vulnerability and ethical land management are evaluated using Spatial Multi-Criteria Evaluation and Land Capability Suitability models. The results demonstrate a classification accuracy exceeding 90%, revealing a critical expansion of built-up areas and deforestation intersecting with high-risk disaster zones (KRB II and III). This intersection exponentially amplifies the risks of landslides and lahars, highlighting anthropocentric exploitation. To restore ecological and spiritual equilibrium, this study identifies 1,660 hectares of priority restoration areas requiring approximately 664,000 trees. SlametWatch serves as an innovative, participatory citizen-science tool that bridges advanced geospatial artificial intelligence with ecotheological obligations, transforming land rehabilitation into an integrated tech-faith ecosystem for sustainable planet restoration.

Keywords: Ecotheology; Participatory Geospatial; Smart Reforestation; Technology for Planet Restoration.

Abstrak

Penelitian ini mendefinisikan ulang rehabilitasi ekologis di kawasan hulu Gunung Slamet melalui lensa ekoteologi, dengan memandang degradasi lingkungan bukan sekadar krisis spasial melainkan bentuk kerusakan mandat kekhalifahan di bumi (corruption of stewardship). Berlatar belakang alih fungsi lahan yang tidak terkendali dan keterbatasan sistem pemantauan berbasis data, penelitian ini bertujuan mengembangkan SlametWatch sebagai platform WebGIS terpadu dalam kerangka technology for planet restoration. Metodologi yang digunakan adalah pendekatan Full-Stack Spatial Data Science dengan integrasi citra Sentinel-2, data topografi SRTM, serta data kebencanaan. Algoritma Random Forest digunakan untuk klasifikasi tutupan lahan, sedangkan Artificial Neural Networks dan Cellular Automata-Markov digunakan untuk memproyeksikan dinamika spasial hingga tahun 2035. Analisis kerentanan etis terhadap ruang diuji melalui Spatial Multi-Criteria Evaluation (SMCE) dan pemodelan Kesesuaian Kemampuan Lahan. Hasil penelitian menunjukkan akurasi klasifikasi >90% serta tren ekspansi area terbangun yang agresif pada Kawasan Rawan Bencana (KRB II dan III), yang secara eksponensial meningkatkan risiko longsor dan lahar akibat eksploitasi antroposentris. Untuk mengembalikan keseimbangan kosmik, riset ini mengidentifikasi area prioritas restorasi seluas 1.660 hektar dengan kebutuhan sekitar 664.000 pohon. Pengembangan SlametWatch menegaskan bahwa integrasi kecerdasan buatan geospasial dan nilai ekoteologis dapat mentransformasi rehabilitasi lahan menjadi sistem partisipatif (citizen science) yang transparan demi pemulihan bumi yang berkelanjutan.

Kata Kunci: Ekoteologi; Geospasial Partisipatif; Smart Reforestation; Technology for Planet Restoration.



THE 5th SAIZU INTERNATIONAL CONFERENCE

ON TRANSDISCIPLINARY RELIGIOUS STUDIES (ICONTREES)

"Beyond the Cosmos : Transdisciplinary Perspectives on Ecotheology and Global Sustainability"

1. PENDAHULUAN

Kawasan hulu Gunung Slamet memiliki peran strategis sebagai penyangga ekosistem, pengatur tata air, serta pengendali risiko bencana bagi wilayah hilir. Secara ekoteologis, lanskap vulkanik aktif ini bukan sekadar hamparan komoditas biofisik, melainkan perwujudan dari keteraturan kosmik (*mizan*) yang diciptakan tuhan secara seimbang. Fungsi ekologis tersebut menjadi sangat krusial mengingat karakteristik wilayahnya yang rentan terhadap bencana majemuk (*compound hazards*), seperti longsor dan aliran lahar hujan. Namun, dalam beberapa dekade terakhir, ketertataan kosmik ini mengalami disrupsi akibat antroposentrisme akut yang termanifestasi dalam perubahan penggunaan lahan yang tidak terkendali.

Alih fungsi hutan menjadi lahan pertanian intensif dan permukiman pada lereng curam mencerminkan hilangnya kesadaran transendental manusia sebagai *khalifah fi al-ard* (penjaga bumi). Degradasi vegetasi permanen ini bertindak sebagai *risk multiplier* dalam sistem bencana berantai (*cascading hazards*). Krisis ini diperparah oleh lemahnya tata kelola berbasis data (*data governance*), di mana pemantauan spasial yang terfragmentasi menyebabkan kebijakan tata ruang tidak responsif terhadap kerusakan yang terjadi. Dalam perspektif ekoteologi kontemporer, krisis lingkungan adalah krisis spiritualitas; kegagalan kebijakan tata ruang mencerminkan hilangnya etika profetik dalam mengelola bumi (Nasr, 2020; White, 1967).

Permasalahan utama dalam tataran aplikatif mencakup tiga aspek etis-teknologis:

1. Fragmentasi informasi akibat ego sektoral yang memicu ketidakadilan spasial.
2. Rendahnya efektivitas program rehabilitasi karena tidak berbasis pada prioritas moral dan spasial yang jelas.
3. Lemahnya sistem monitoring yang mengeklusi peran serta masyarakat luas.

Untuk mengatasi problem tersebut, paradigma *technology for planet restoration* hadir untuk menawarkan integrasi sains digital dan komitmen etis-spiritual (Holl & Brancalion, 2020). Konsep *smart reforestation* yang menggabungkan analitik prediktif berbasis kecerdasan buatan (*Artificial Intelligence*) dengan pendekatan *citizen science* dapat memulihkan ekosistem sekaligus mendemokratisasikan pengelolaan lingkungan.

Research gap dalam literatur saat ini menunjukkan bahwa kajian interdisipliner yang mengaitkan analitik geospasial tingkat lanjut (*Full-Stack Spatial Data Science*) dengan nilai-nilai etika ekoteologi masih sangat langka. Kebanyakan riset terpisah antara pemodelan matematis murni atau narasi teologis spekulatif tanpa basis instrumen operasional. Oleh karena itu, penelitian ini menawarkan kebaruan (*novelty*) melalui pengembangan platform *SlametWatch* (slametwatch.netlify.app). Platform WebGIS ini bertindak sebagai jembatan teknologi (*technological enabler*) yang mengubah prinsip-prinsip abstrak ekoteologi restorasi planet menjadi tindakan konservasi yang presisi, terukur, dan partisipatif berbasis kecerdasan spasial.



THE 5th SAIZU INTERNATIONAL CONFERENCE

ON TRANSDISCIPLINARY RELIGIOUS STUDIES (ICONTREES)

"Beyond the Cosmos : Transdisciplinary Perspectives on Ecotheology and Global Sustainability"

2. METODE PENELITIAN

2.1. Desain Penelitian dan Kerangka Kerja Ekoteologi

Penelitian ini menerapkan pendekatan kuantitatif berbasis spasial (*spatial quantitative approach*) yang bersifat eksplanatif dan prediktif. Desain penelitian ini diintegrasikan dengan kerangka kerja restorasi planet, di mana setiap tahapan teknologi ditujukan untuk mengukur dan memulihkan integritas ekologis yang rusak. Pengolahan data spasial dipecah ke dalam beberapa tahapan komputasi: klasifikasi tutupan lahan eksisting (2020–2025) menggunakan *Random Forest*, proyeksi perubahan lahan (2030–2035) melalui integrasi *Artificial Neural Network* (ANN) dan *Cellular Automata-Markov* (CA-Markov), serta pemetaan area prioritas pemulihan kosmik berbasis kriteria kemampuan lahan.

2.2. Lokasi dan Unit Analisis Spasial

Riset dieksekusi pada lanskap lereng Gunung Slamet yang memayungi lima wilayah administratif di Provinsi Jawa Tengah: Kabupaten Banyumas, Purbalingga, Tegal, Brebes, dan Pemalang. Populasi dan sampel berbasis spasial direpresentasikan melalui unit piksel raster dengan resolusi 10 meter. Untuk melatih algoritma klasifikasi, diambil 250 titik sampel representatif menggunakan teknik *stratified random sampling* yang dialokasikan secara proporsional, dengan proporsi 70% sebagai data latih (*training set*) dan 30% sebagai data uji (*validation set*).

2.3. Alur Komputasi dan Pengumpulan Data Spasial

Data primer diekstraksi dari citra satelit Sentinel-2 Level-2A (resolusi 10 meter) tahun 2020 dan 2025 dengan algoritma *temporal compositing* pada musim kemarau guna menghasilkan visualisasi bebas awan. Parameter topografi dan morfologi lereng disuplai dari *Digital Elevation Model* (DEM) SRTM resolusi 30 meter. Data zonasi bahaya vulkanik merujuk pada peta Kawasan Rawan Bencana (KRB) dari instansi resmi pemerintah. Seluruh arsitektur data ini diproses menggunakan ekosistem *cloud computing* Google Earth Engine (GEE).

2.4. Argumentasi Teoretis Pengolahan Data dan Validasi Model

Sebagai pengganti formulasi matematis reduksionis, validasi dan keandalan model analitik dalam riset ini dibangun di atas landasan epistemologi *Spatial Data Science* mutakhir:

2.4.1. Pemodelan Klasifikasi Berbasis *Machine Learning*

Klasifikasi tutupan lahan menggunakan algoritma *Random Forest* bersandar pada teori ansambel pohon keputusan (*decision trees*). Berdasarkan argumen Belgiu & Drăguț (2016), keunggulan utama algoritma ini terletak pada kemampuannya menangani data spasial berdimensi tinggi (*high-dimensional data*) dan meminimalkan gejala *overfitting* melalui



THE 5th SAIZU INTERNATIONAL CONFERENCE

ON TRANSDISCIPLINARY RELIGIOUS STUDIES (ICONTREES)

"Beyond the Cosmos : Transdisciplinary Perspectives on Ecotheology and Global Sustainability"

mekanisme *sub-sampling* acak. Validitas pengenalan objek bumi dinilai menggunakan kerangka etika data ilmiah, di mana akurasi observasi diuji silang terhadap probabilitas teoretis kesesuaian acak (**Koefisien Kappa**). Hal ini menjamin bahwa peta penggunaan lahan yang dihasilkan terbebas dari bias subjektivitas interpreter dan memiliki keandalan tinggi.

2.4.2. Proyeksi Spasial Jangka Menengah Berbasis ANN-CA

Simulasi dinamika lanskap masa depan (tahun 2030 dan 2035) mengintegrasikan kapasitas pembelajaran non-linier dari *Artificial Neural Network* (ANN) dengan transisi keruangan dari *Cellular Automata* (CA). Teori dasar ANN memisahkan faktor pendorong perubahan lahan secara adaptif, sementara CA memodelkan kedekatan spasial (*spatial proximity*). Integrasi ini sejalan dengan tesis Liu et al. (2020) mengenai model simulasi lahan masa depan (*Future Land Use Simulation*) yang efektif dalam menguji skenario tata ruang. Evaluasi terhadap keandalan model prediksi ini tidak lagi menggunakan rumus deterministik, melainkan diuji secara komprehensif melalui analisis *Receiver Operating Characteristic* (ROC) dan *Area Under Curve* (AUC). Pendekatan teoretis AUC berfungsi mengukur daya diskriminasi model dalam membedakan area yang benar-benar rawan berubah dengan area stabil. Nilai AUC yang mendekati poin absolut mengonfirmasi secara akademis bahwa model prediksi *Business As Usual* (BAU) yang dibangun memiliki akurasi ilmiah yang valid untuk dijadikan dasar intervensi restorasi planet.

2.4.3. Sintesis Evaluasi Kerentanan Multikriteria

Penentuan prioritas restorasi memanfaatkan metode *Spatial Multi-Criteria Evaluation* (SMCE) dan pemodelan Kesesuaian Kemampuan Lahan (SKL). Kerangka ini didasarkan pada *Integrated Land System Modeling* (Verburg et al., 2021), yang menyatakan bahwa penataan ruang harus mengevaluasi daya dukung fisik bumi (seperti kemiringan lereng, formasi geologi, dan hidrologi) sebagai batasan absolut yang tidak boleh dilanggar oleh aktivitas manusia.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Krisis Keseimbangan Kosmik: Dinamika Tutupan Lahan (2020–2025)

Aplikasi algoritma *Random Forest* mendeteksi kerusakan ekologis yang masif pada periode 2020–2025. Terjadi penciutan tutupan vegetasi permanen yang diiringi oleh ekspansi agrikultur intensif dan area terbangun secara agresif. Pola spasial menunjukkan fenomena *clustered expansion* (ekspansi terklaster), terutama di sektor tenggara lanskap Slamet (koridor Banyumas–Purbalingga).

Secara ekoteologis, tren *path-dependent development* ini—di mana pembangunan ekonomi masa lalu mendikte kerusakan masa depan—menunjukkan dominasi paradigma antroposentrisme eksploitatif. Manusia memandang hutan hulu bukan sebagai sistem kehidupan yang suci (*sacred creation*), melainkan sekadar ruang komoditas. Kerusakan ini



THE 5th SAIZU INTERNATIONAL CONFERENCE

ON TRANSDISCIPLINARY RELIGIOUS STUDIES (ICONTREES)

"Beyond the Cosmos : Transdisciplinary Perspectives on Ecotheology and Global Sustainability"

mengonfirmasi tesis Song et al. (2018) bahwa dorongan ekonomi jangka pendek tanpa kendali etis merupakan motor utama degradasi lingkungan global.

3.2. Proyeksi Kerusakan Lanskap Masa Depan (2030–2035)

Simulasi skenario *Business As Usual* (BAU) dengan model ANN-CA memproyeksikan potret krisis yang lebih kelam untuk tahun 2030 dan 2035. Jika perilaku eksploitatif manusia dibiarkan berjalan tanpa intervensi etis-spiritual, area terbangun diprediksi akan terus mendaki ke elevasi yang lebih tinggi dan menembus batas kritis Kawasan Rawan Bencana (KRB II dan III).

Secara teoretis, simulasi ini membuktikan keandalan model ANN-CA dalam mereplikasi kompleksitas spasial (Mustafa et al., 2018). Namun, dari kacamata akademik, model ini juga menelanjangi ketidakmampuan logika pasar bebas dalam menangkap *feedback loop* (lingkaran umpan balik) antara kerusakan alam dan keselamatan manusia. Fragmentasi lanskap yang diproyeksikan mencerminkan terjadinya *corruption of the earth* secara spasial, di mana zona lindung yang seharusnya dijaga secara sakral terancam runtuh akibat ketabuan sistem regulasi.

3.3. Deforestasi sebagai *Risk Multiplier* Lingkungan

Hasil SMCE menegaskan keterkaitan langsung antara hilangnya tutupan pohon dengan amplifikasi risiko hidrometeorologi dan vulkanik. Kawasan dengan kemiringan lereng di atas 30% yang kehilangan vegetasi alaminya teridentifikasi memiliki kerentanan longsor eksponensial dan menjadi jalur propagasi utama aliran lahar hujan.

Dalam diskursus kebencanaan kontemporer, fenomena ini disebut sebagai *compound events* atau bencana berantai (Zscheischler et al., 2018). Ekoteologi menerjemahkan kondisi ini sebagai runtuhnya *mizan* (keseimbangan). Ketika akar vegetasi yang berfungsi sebagai "pasak bumi" dicabut, stabilitas mekanis lereng hancur, mengubah berkah air hujan menjadi musibah banjir dan longsor di wilayah hilir. Deforestasi terbukti secara ilmiah berfungsi sebagai *risk multiplier* yang menghubungkan krisis ekologis lokal dengan ancaman eksistensial kemanusiaan (Gariano & Guzzetti, 2016).

3.4. Ketidakadilan Spasial dan Deviasi Tata Ruang

Evaluasi Kesesuaian Kemampuan Lahan (SKL) menyingkap fakta sosiologis-spasial yang mengkhawatirkan. Terjadi deviasi tata ruang yang masif pada kawasan wisata dan permukiman hulu seperti di Desa Gucci dan Desa Rembul (Kabupaten Tegal). Wilayah yang secara fisik memiliki daya dukung rendah dan risiko bencana tinggi justru mengalami konversi menjadi infrastruktur buatan.

Kondisi ini mencerminkan apa yang diidentifikasi oleh Reed et al. (2020) sebagai kegagalan tata ruang sensitif risiko (*risk-sensitive spatial planning failure*) akibat tekanan kapital lokal.



THE 5th SAIZU INTERNATIONAL CONFERENCE

ON TRANSDISCIPLINARY RELIGIOUS STUDIES (ICONTREES)

"Beyond the Cosmos : Transdisciplinary Perspectives on Ecotheology and Global Sustainability"

Dari perspektif keadilan lingkungan (*environmental justice*), deviasi ini memicu kerentanan struktural: komunitas lokal dikorbankan demi keuntungan ekonomi segelintir pihak, sebuah tindakan yang sangat bertentangan dengan prinsip keadilan kosmik dalam ekoteologi.

3.5. Rekomendasi Pemulihan Melalui *Smart Reforestation*

Sebagai langkah konkret merestorasi planet, analisis *overlay* spasial berhasil mengisolasi **1.660 hektar area prioritas restorasi ekologis**. Zona ini merupakan titik kritis di mana kemampuan lahan rendah beririsan langsung dengan proyeksi kerusakan BAU dan zona bahaya tinggi. Untuk memulihkan fungsi spiritual dan ekologis wilayah tersebut, diperlukan intervensi berbasis data berupa penanaman sedikitnya **664.000 pohon**.

Pendekatan ini tidak lagi menggunakan pola reboisasi konvensional *top-down* yang sering kali gagal, melainkan mengadopsi paradigma *smart reforestation* (Holl & Brancalion, 2020). Pemilihan spesies pohon disesuaikan dengan fungsi ekologis pengikat lereng dan nilai kemanfaatan ekonomi bagi masyarakat, sehingga pemulihan lingkungan berjalan beriringan dengan pemenuhan hak-hak hidup manusia secara berkeadilan.

3.6. *SlametWatch* sebagai *Decision Support System* Ekoteologi

Kontribusi utama riset ini terletak pada integrasi multi-model spasial (Random Forest, ANN-CA, SMCE, dan SKL) ke dalam arsitektur WebGIS interaktif berbasis Leaflet.js melalui platform *SlametWatch*. Secara metodologis, riset ini melompat jauh melampaui analisis spasial deskriptif tradisional yang cenderung statis (Camacho Olmedo et al., 2018).

Tabel 1. Kebaruan *SlametWatch*

Komponen Sistem	Pendekatan Teknologi	Transformasi Ekoteologi
Data Engine	<i>Machine Learning & Cloud Computing</i> (GEE)	Transparansi dalam membaca tanda-tanda kerusakan bumi.
Predictive Tool	Pemodelan Spasial ANN-CA Jangka Panjang	Peringatan dini (<i>profetik</i>) untuk mencegah kerusakan yang lebih besar.
Interface	WebGIS Interaktif (Leaflet.js Client-Side)	Demokratisasi sains; mengembalikan hak pengawasan alam kepada publik.



THE 5th SAIZU INTERNATIONAL CONFERENCE

ON TRANSDISCIPLINARY RELIGIOUS STUDIES (ICONTREES)

"Beyond the Cosmos : Transdisciplinary Perspectives on Ecotheology and Global Sustainability"

Komponen Sistem	Pendekatan Teknologi	Transformasi Ekoteologi
Social Layer	Pendekatan <i>Citizen Science</i>	Manifestasi kolektif amanah kekhalifahan umat manusia.

Sumber : Analisis *SlametWatch*, 2026

SlametWatch bertindak sebagai *decision-oriented geospatial intelligence system*. Sesuai pandangan Ferreira et al. (2021), teknologi WebGIS berperan krusial dalam menjembatani kesenjangan komunikasi risiko. Dalam konteks restorasi planet, platform ini merevolusi pemulihan lahan dari program birokratis yang kaku menjadi gerakan moral berbasis data ilmiah, di mana setiap warga negara dapat berpartisipasi (*citizen science*) memantau dan menghidupkan kembali bumi mereka.

4. KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa kawasan hulu Gunung Slamet tengah menghadapi krisis keseimbangan kosmik akibat antroposentrisme akut. Berdasarkan analisis spasial menggunakan algoritma *Random Forest* periode 2020–2025, telah terjadi degradasi vegetasi permanen yang masif akibat alih fungsi lahan menjadi pertanian intensif dan permukiman di lereng curam, khususnya di sektor tenggara (koridor Banyumas–Purbalingga). Kehilangan tutupan pohon ini bertindak sebagai *risk multiplier* dalam sistem bencana berantai (*cascading hazards*) yang melipatgandakan kerentanan longsor dan jalur aliran lahar hujan.

Secara umum, simulasi jangka menengah (2030–2035) menggunakan model *Artificial Neural Network-Cellular Automata* (ANN-CA) memproyeksikan bahwa jika skenario *Business As Usual* (BAU) dibiarkan tanpa intervensi, ekspansi area terbangun akan terus merambah ke elevasi yang lebih tinggi dan menjebol batas kritis Kawasan Rawan Bencana (KRB) II dan III. Ketimpangan ini diperparah oleh deviasi tata ruang nyata di kawasan wisata seperti Desa Guci dan Desa Rembul, yang menyingkap adanya kegagalan tata ruang sensitif risiko akibat tekanan kapital lokal dan lemahnya aspek tata ruang berbasis data.

Sebagai langkah konkret untuk merestorasi kerusakan tersebut, penelitian ini merekomendasikan intervensi pemulihan yang presisi pada **1.660 hektar area prioritas** yang mutlak membutuhkan penanaman sedikitnya **664.000 pohon**. Implikasi dari temuan ini menuntut pergeseran radikal dari pola reboisasi konvensional *top-down* menuju paradigma **smart reforestation**. Pemilihan spesies pohon harus dikombinasikan antara vegetasi yang memiliki fungsi ekologis pengikat lereng (stabilitas mekanis) dengan tanaman yang memberikan nilai kemanfaatan ekonomi, sehingga hak hidup komunitas lokal dan keadilan lingkungan (*environmental justice*) tetap terpenuhi. Secara aplikatif, kehadiran platform **SlametWatch** (slametwatch.netlify.app) yang mengintegrasikan *Full-Stack Spatial Data*



THE 5th SAIZU INTERNATIONAL CONFERENCE

ON TRANSDISCIPLINARY RELIGIOUS STUDIES (ICONTREES)

"Beyond the Cosmos : Transdisciplinary Perspectives on Ecotheology and Global Sustainability"

Science dengan nilai etika ekoteologi memegang peran krusial sebagai *decision-oriented geospatial intelligence system*. Implikasi teknologi ini mengubah prinsip-prinsip teologis yang abstrak menjadi tindakan konservasi yang terukur. Pemerintah daerah di lima kabupaten terkait (Banyumas, Purbalingga, Tegal, Brebes, dan Pemalang) disarankan untuk:

- a) Mengadopsi platform WebGIS ini sebagai basis data terpadu guna mengatasi ego sektoral dan fragmentasi informasi,
- b) Memanfaatkan analitik prediktif di dalamnya untuk menyusun kebijakan tata ruang yang lebih responsif.
- c) Melibatkan masyarakat luas melalui pendekatan *citizen science* yang mendemokratisasikan pengawasan lingkungan sekaligus mewujudkan kembali peran transendental manusia sebagai penjaga bumi (*khalifah fi al-ard*).

DAFTAR PUSTAKA

- Belgiu, M., & Drăguț, L. (2016). Random forest in remote sensing: A review of applications and future directions. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 114, 24–31. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2016.01.011>
- Ferreira, B., Iturrioz, T., & Olazabal, M. (2021). WebGIS as a technological enabler for citizen science and risk communication in climate change adaptation. *Environmental Science & Policy*, 124, 45–56. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2021.06.002>
- Gariano, S. L., & Guzzetti, F. (2016). Landslides in a changing climate. *Earth-Science Reviews*, 162, 227–252. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2016.08.011>
- Holl, K. D., & Brancalion, P. H. (2020). Tree planting is not a simple solution. *Science*, 368(6491), 580–581. <https://doi.org/10.1126/science.aba8232>
- Liu, X., Liang, X., Li, X., Xu, X., Ou, J., Chen, Y., Li, S., Wang, S., & Pei, F. (2020). A future land use simulation model (FLUS) for simulating multiple land use scenarios by coupling cellular automata and a roulette selection mechanism. *Landscape and Urban Planning*, 162, 116–131. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2017.02.011>
- Mustafa, A., Cools, M., Saadi, I., & Teller, J. (2018). Coupling agent-based with cellular automata models to simulate urban expansion. *International Journal of Geographical Information Science*, 32(2), 311–333. <https://doi.org/10.1080/13658816.2017.1400548>
- Nasr, S. H. (2020). *Man and nature: The spiritual crisis of modern man*. Kazi Publications.
- Palmer, M., & Finlay, V. (2003). *Faith in conservation: New approaches to religions and the environment*. World Bank Publications.
- Reed, M. S., Vella, S., Challies, E., de Vente, J., Frewer, L., Hohenwallner-Ries, D., Huber, T., Neumann, R. K., Oughton, E. A., Sidoli del Ceno, J., & van Delden, H. (2020). A theory of participation: What makes stakeholder and public engagement in environmental management work? *Restoration Ecology*, 28(S1), S7–S17. <https://doi.org/10.1111/rec.13117>



THE 5th SAIZU INTERNATIONAL CONFERENCE

ON TRANSDISCIPLINARY RELIGIOUS STUDIES (ICONTREES)

"Beyond the Cosmos : Transdisciplinary Perspectives on Ecotheology and Global Sustainability"

- Song, X. P., Hansen, M. C., Stehman, S. V., Potapov, P. V., Tyukavina, A., Vermote, E. F., & Townshend, J. R. (2018). Global land change from 1982 to 2016. *Nature*, 560(7720), 639–643. <https://doi.org/10.1038/s41586-018-0411-9>
- Verburg, P. H., Dearing, J. A., Dyke, J. G., van der Leeuw, S., Seitzinger, S., Steffen, W., & Syvitski, J. (2021). Integrated land system modeling: Progress and challenges for analyzing sustainability of social-ecological systems. *Global Environmental Change*, 68, Artikel 102240. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2021.102240>
- White, L. (1967). The historical roots of our ecologic crisis. *Science*, 155(3767), 1203–1207. <https://doi.org/10.1126/science.155.3767.1203>
- Zscheischler, J., Westra, S., Van Den Hurk, B. J., Seneviratne, S. I., Ward, P. J., Pitman, A. J., Aghakouchak, A., Bresch, D. N., Leonard, M., Wahl, T., & Zhang, X. (2018). Future climate risk from compound events. *Nature Climate Change*, 8(6), 469–477. <https://doi.org/10.1038/s41558-018-0156-3>