

RANCANG BANGUN GIS AREA RAWAN DAMPAK PERTAMBANGAN DI KABUPATEN KONAWE SELATAN MENGGUNAKAN ALGORITMA *RANDOM FOREST*

Ayustina Samudin^{1*}, Statiswaty², Bambang Pramono³

^{1,2}Universitas Halu Oleo; Jln. H.E.A Mokodompit No. 8 Kampus Baru UHO Bumi Tridharma Anduonohu; 0401-3194163

Keywords:

Web GIS, Random Forest, Google Earth Engine

Correspondent Email:

ayustinasamudin@gmail.com

Abstrak. Aktivitas pertambangan di Kabupaten Konawe Selatan memerlukan penyajian informasi spasial agar wilayah yang berpotensi rawan terhadap dampak pertambangan dapat dipahami secara lebih jelas. Penelitian ini bertujuan membangun *Web GIS* untuk memetakan area rawan dampak pertambangan menggunakan algoritma *Random Forest*. Parameter geospasial yang digunakan meliputi kemiringan lereng, curah hujan, dan tutupan lahan. Pengolahan data dilakukan pada *Google Earth Engine*, sedangkan visualisasi hasil klasifikasi dikembangkan menggunakan *HTML*, *CSS*, *JavaScript*, dan *Leaflet.js*. Data sampel berjumlah 300 titik, terdiri atas 222 data *training* dan 78 data *testing*. Hasil klasifikasi menunjukkan bahwa area penelitian didominasi kelas sedang seluas 527,43 ha (64,2%), diikuti kelas aman 230,23 ha (28,0%), dan kelas rawan 63,31 ha (7,7%). Evaluasi model menghasilkan *accuracy* 84,00%, *precision* 87,28%, *recall* 84,49%, *F1-score* 84,13%, dan *kappa index* 0,7695. Hasil tersebut menunjukkan bahwa *Random Forest* mampu mendukung klasifikasi kerawanan dan *Web GIS* dapat menyajikannya secara interaktif sebagai informasi awal, bukan sebagai dasar keputusan resmi tanpa validasi lapangan dan kajian tambahan



Copyright © 2026 The Author(s), Published by Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License (CC BY-NC 4.0).

Abstract. Mining activities in South Konawe Regency require spatial information to support the identification of areas potentially vulnerable to mining impacts. This study aims to develop a *Web GIS* for mapping mining-impact vulnerability using the *Random Forest* algorithm. The geospatial parameters include slope, rainfall, and land cover. Spatial data processing was performed in *Google Earth Engine*, while the visualization system was developed using *HTML*, *CSS*, *JavaScript*, and *Leaflet.js*. The sample data consisted of 300 points, divided into 222 training data and 78 testing data. The classification result shows that the study area is dominated by the moderate class with 527.43 ha (64.2%), followed by the safe class with 230.23 ha (28.0%), and the vulnerable class with 63.31 ha (7.7%). Model evaluation obtained 84.00% accuracy, 87.28% precision, 84.49% recall, 84.13% *F1-score*, and 0.7695 *kappa index*. These results indicate that *Random Forest* can support vulnerability classification and that the *Web GIS* provides interactive preliminary information rather than an official decision-making basis without field validation and additional assessment.

1. PENDAHULUAN

Pertambangan merupakan sektor strategis yang berkontribusi terhadap pembangunan ekonomi daerah, tetapi kegiatan penambangan

juga dapat memicu perubahan tutupan lahan, peningkatan limpasan permukaan, erosi, sedimentasi, dan degradasi lingkungan apabila tidak dikelola secara memadai [1]. Kabupaten

Konawe Selatan, khususnya wilayah Palangga Selatan, memiliki aktivitas pertambangan nikel yang berdekatan dengan lahan masyarakat dan ruang hidup desa sekitar [2]. Dampak lingkungan di sekitar pertambangan nikel juga dapat memengaruhi kegiatan pertanian dan pemanfaatan sumber daya lahan [3]. Kondisi tersebut menunjukkan perlunya informasi spasial yang mampu memperlihatkan perbedaan tingkat kerawanan antarwilayah secara jelas dan mudah dipahami.

Kerawanan dampak pertambangan tidak hanya ditentukan oleh keberadaan kegiatan tambang, tetapi juga dipengaruhi karakter fisik dan penutup permukaan wilayah. Kemiringan lereng berhubungan dengan kestabilan lahan dan kecepatan aliran permukaan [4], curah hujan dapat meningkatkan limpasan serta potensi erosi [5], sedangkan tutupan lahan memengaruhi kemampuan permukaan dalam meredam aliran dan mempertahankan tanah [6]. Oleh karena itu, integrasi ketiga parameter tersebut dapat digunakan untuk membentuk informasi awal mengenai kelas aman, sedang, dan rawan.

Google Earth Engine menyediakan lingkungan komputasi awan untuk mengolah data geospasial dalam skala luas. Pada platform tersebut, *Random Forest* dapat digunakan untuk membangun klasifikasi berdasarkan kombinasi beberapa fitur spasial dan menghasilkan keputusan melalui suara terbanyak dari sejumlah pohon keputusan [7]-[8]. Pendekatan ini dipilih karena mampu menangani hubungan nonlinier, relatif tahan terhadap variasi data, dan menyediakan informasi kontribusi setiap parameter melalui *feature importance*.

Penelitian terdahulu telah memanfaatkan SIG untuk zonasi gerakan massa di area pertambangan emas [9], pemetaan risiko longsor pada jalan tambang [10], serta pemantauan deforestasi dan perubahan tutupan lahan di wilayah pertambangan nikel [11]. Kajian lain menunjukkan bahwa *Web GIS* dapat meningkatkan akses dan interaktivitas informasi kebencanaan [12], sedangkan penelitian pada JITET memperlihatkan bahwa sistem informasi geospasial berbasis *Web* dapat membantu proses pemetaan dan perencanaan secara lebih efisien [13]. Meskipun demikian, sebagian penelitian pertambangan masih berfokus pada *overlay* berbobot atau menghasilkan peta statis, sehingga integrasi

klasifikasi berbasis *machine learning* dengan *Web GIS* interaktif pada area pertambangan di Konawe Selatan masih diperlukan.

Kebaruan penelitian ini terletak pada penerapan *Random Forest* untuk mengintegrasikan parameter kemiringan lereng, curah hujan, dan tutupan lahan pada area sekitar perusahaan pertambangan di Palangga Selatan Kabupaten Konawe Selatan. Hasil klasifikasi tidak hanya disajikan dalam bentuk peta, tetapi diintegrasikan ke dalam *Web GIS* yang menyediakan pilihan *layer*, legenda kerawanan, pencarian desa, informasi titik, informasi perusahaan, dan statistik model. Penelitian ini bertujuan membangun *Web GIS* area rawan dampak pertambangan, menghasilkan tiga kelas kerawanan, mengevaluasi kinerja model, serta menyajikan hasilnya sebagai informasi spasial awal bagi pengguna.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Dampak Pertambangan dan Kerawanan Spasial

Dampak pertambangan dapat muncul dalam bentuk perubahan bentang lahan, terbukanya permukaan tanah, peningkatan erosi [1] dan sedimentasi, serta perubahan fungsi lahan, [3], [14]. Dalam penelitian ini, istilah kerawanan spasial merujuk pada tingkat potensi suatu lokasi mengalami dampak berdasarkan karakteristik parameter geospasial, bukan pada pengukuran kerusakan aktual. Kelas aman menunjukkan potensi relatif rendah, kelas sedang menunjukkan kondisi yang memerlukan perhatian, dan kelas rawan menunjukkan kombinasi parameter dengan potensi relatif tinggi.

2.2 Web GIS dan Google Earth Engine

Web GIS merupakan sistem informasi geografis yang menyediakan akses, visualisasi, dan interaksi data spasial melalui peramban *Web*. Pendekatan ini memungkinkan pengguna menampilkan *layer*, mencari lokasi, membaca informasi titik, serta meninjau statistik tanpa perangkat lunak desktop khusus [12]-[15]. *Google Earth Engine* digunakan pada sisi pengolahan karena mendukung pengelolaan koleksi data geospasial, operasi raster, pengambilan sampel, pelatihan model, dan evaluasi secara terintegrasi.

2.3 Algoritma Random Forest

Random Forest merupakan metode ensemble learning yang membentuk banyak

pohon keputusan dari variasi sampel dan fitur. Setiap pohon menghasilkan kelas, kemudian kelas akhir ditentukan melalui suara terbanyak. Penggabungan banyak pohon mengurangi ketergantungan terhadap satu struktur keputusan dan membantu meningkatkan kestabilan klasifikasi [7]-[8].

$$\hat{y} = \text{mode} \{h^1(X), h^2(X), \dots, h^B(X)\} \quad (1)$$

Pada Persamaan (1), X adalah vektor fitur yang terdiri atas kemiringan lereng, curah hujan, dan tutupan lahan; h merupakan prediksi masing-masing pohon; B merupakan jumlah pohon; dan $\hat{y}$ merupakan kelas hasil akhir.

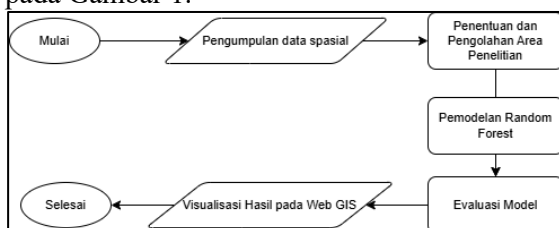
2.4 Parameter Geospasial

Kemiringan lereng merepresentasikan bentuk topografi yang berpengaruh terhadap aliran permukaan dan kestabilan lahan. Curah hujan merepresentasikan masukan air yang dapat meningkatkan limpasan dan erosi. Tutupan lahan menggambarkan kondisi permukaan, seperti vegetasi, lahan terbuka, dan area terbangun, yang memiliki kemampuan berbeda dalam melindungi tanah [4]-[6]. Ketiga parameter dipilih sebagai fitur awal karena tersedia secara spasial, dapat diolah pada *Google Earth Engine*, dan relevan terhadap proses lingkungan di sekitar area tambang.

3. METODE PENELITIAN

3.1 Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian meliputi pengumpulan data spasial, penentuan dan pengolahan area penelitian, pemodelan *Random Forest*, evaluasi model, dan visualisasi hasil pada *Web GIS*. Alur penelitian ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Alur Penelitian

3.2 Area dan Sumber Data

Area penelitian difokuskan pada wilayah sekitar perusahaan pertambangan di Palangga Selatan Kabupaten Konawe Selatan. Batas area digunakan sebagai *clip* agar seluruh pengolahan parameter dan hasil klasifikasi hanya mencakup wilayah studi. Data perusahaan dan desa sekitar digunakan sebagai informasi pendukung pada antarmuka *Web GIS*.

3.3 Pengolahan Parameter

Data elevasi diolah menjadi kemiringan lereng, data curah hujan harian diakumulasi menjadi curah hujan tahunan, dan data tutupan lahan disederhanakan menjadi kategori yang sesuai dengan kebutuhan penelitian. Setiap parameter direklasifikasi ke skala kelas 1-3, yaitu aman, sedang, dan rawan. Seluruh *layer* kemudian disusun menjadi citra *multiband* sebagai masukan model *Random Forest*.

Hasil pengolahan parameter ditunjukkan pada Gambar 2. Perbedaan pola spasial antarparameter memberikan variasi fitur yang dibutuhkan model untuk membentuk batas keputusan klasifikasi.



Gambar 2. Hasil Pengolahan Parameter Geospasial

3.4 Pembentukan Sampel dan Model

Sampel klasifikasi berjumlah 300 titik yang mewakili kelas aman, sedang, dan rawan. Pembagian acak yang digunakan pada eksperimen menghasilkan 222 titik data *training* dan 78 titik data *testing*. Data *training* digunakan untuk membentuk model, sedangkan data *testing* digunakan untuk mengevaluasi kemampuan model pada sampel yang tidak dilibatkan dalam proses pelatihan.

Tabel 1. Pembagian Data Sampel

Data	Jumlah
<i>Training</i>	222 titik
<i>Testing</i>	78 titik
Total	300 titik

Model dibangun menggunakan 100 pohon keputusan dengan nilai *minLeafPopulation* sebesar 1. Kelas *output* disimpan sebagai 0 untuk aman, 1 untuk sedang, dan 2 untuk rawan sehingga konsisten dengan proses *training*, evaluasi, dan visualisasi.

Tabel 2. Parameter Model *Random Forest*

Parameter model	Nilai
Jumlah pohon keputusan	100
<i>minLeafPopulation</i>	1
Jumlah fitur	3

Parameter model	Nilai
Jumlah kelas	3
Kelas <i>output</i>	0 = aman; 1 = sedang; 2 = rawan

3.5 Evaluasi Model

Evaluasi dilakukan menggunakan *confusion matrix* untuk memperoleh *accuracy*, *precision*, *recall*, *F1-score*, dan *kappa*. *Accuracy* menunjukkan proporsi prediksi benar secara keseluruhan; *precision* menunjukkan ketepatan prediksi kelas; *recall* menunjukkan kemampuan mengenali anggota kelas aktual; *F1-score* mengukur keseimbangan *precision* dan *recall*; sedangkan *kappa* mengukur kesesuaian prediksi setelah mempertimbangkan peluang kesesuaian secara acak.

$$Accuracy = \frac{\sum \text{data benar}}{\sum \text{seluruh data}} \times 100\% \quad (2)$$

$$Precision = \frac{TP}{TP + FP} \quad (3)$$

$$Recall = \frac{TP}{TP + FN} \quad (4)$$

$$F1 - score \quad (5)$$

$$= 2 \times \frac{Precision \times Recall}{Precision + Recall}$$

$$Kappa = \frac{P_o - P_e}{1 - P_e} \quad (6)$$

3.6 Implementasi Web GIS

Hasil klasifikasi dipublikasikan melalui Web GIS yang dikembangkan menggunakan HTML, CSS, JavaScript, dan Leaflet.js. Halaman *dashboard* menampilkan peta interaktif, *layer* parameter, *layer* hasil *Random Forest*, legenda, pencarian desa, informasi titik, dan informasi perusahaan. Halaman statistik menampilkan luas setiap kelas, metrik evaluasi, dan *feature importance*, sedangkan halaman tentang menjelaskan ruang lingkup sistem.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Pengolahan Parameter

Peta parameter memperlihatkan bahwa kemiringan lereng dan tutupan lahan memiliki variasi spasial yang lebih jelas dibandingkan curah hujan. Kemiringan lereng membentuk pola kelas yang mengikuti kondisi topografi, sedangkan tutupan lahan memperlihatkan perbedaan antara area bervegetasi, lahan terbuka, dan permukaan lainnya. Curah hujan

pada area penelitian cenderung lebih homogen karena wilayah studi relatif terbatas dan nilai yang digunakan merupakan akumulasi tahunan.

Variasi tersebut penting karena *Random Forest* membentuk pemisahan kelas berdasarkan fitur yang dapat mengurangi ketidakmurnian pada setiap *node*. Parameter yang memiliki variasi rendah cenderung memberikan tambahan informasi lebih kecil dibandingkan parameter yang memiliki pola spasial lebih beragam.

4.2 Hasil Klasifikasi Kerawanan

Model *Random Forest* menghasilkan peta tiga kelas kerawanan, yaitu aman, sedang, dan rawan. Kelas aman menunjukkan potensi relatif rendah berdasarkan kombinasi parameter, kelas sedang menunjukkan kondisi menengah yang memerlukan perhatian, sedangkan kelas rawan menunjukkan kombinasi parameter dengan potensi relatif tinggi. Peta hasil klasifikasi ditunjukkan pada Gambar 3.



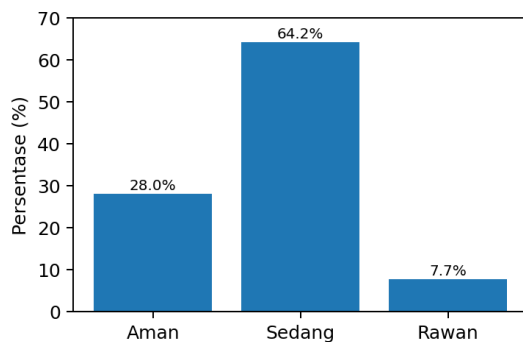
Gambar 3. Hasil Klasifikasi Area Rawan Dampak Pertambangan

Tabel 3. Luas Hasil Klasifikasi Kerawanan

Kelas	Luas	Persentase
Aman	230,23 ha	28,0%
Sedang	527,43 ha	64,2%
Rawan	63,31 ha	7,7%
Total	820,97 ha	99,9%*

Kelas sedang mendominasi area penelitian dengan luas 527,43 ha atau 64,2%. Dominasi kelas ini menunjukkan bahwa sebagian besar wilayah memiliki kombinasi karakteristik yang tidak sepenuhnya rendah, tetapi juga tidak seluruhnya berada pada kondisi

paling rawan. Kelas aman mencakup 230,23 ha atau 28,0%, sedangkan kelas rawan mencakup 63,31 ha atau 7,7%. Walaupun luas kelas rawan lebih kecil, area tersebut tetap penting untuk diprioritaskan dalam pemantauan karena merepresentasikan lokasi dengan kombinasi parameter paling tidak menguntungkan dalam model.



Gambar 4. Persentase Luas Kelas Kerawanan

4.3 Evaluasi Kinerja Model

Pengujian terhadap 78 data *testing* menghasilkan *accuracy* sebesar 84,00%. Nilai tersebut menunjukkan bahwa sebagian besar sampel uji berhasil ditempatkan pada kelas yang sesuai. *Precision* 87,28% menunjukkan tingkat ketepatan prediksi kelas yang baik, *recall* 84,49% menunjukkan kemampuan model dalam mengenali kelas aktual, dan *F1-score* 84,13% memperlihatkan keseimbangan antara *precision* dan *recall*.

Tabel 4. Hasil Evaluasi Model *Random Forest*

Metrik	Nilai	Interpretasi
<i>Accuracy</i>	84,00%	Ketepatan keseluruhan baik
<i>Precision</i>	87,28%	Prediksi kelas relatif tepat
<i>Recall</i>	84,49%	Pengenalan kelas baik
<i>F1-score</i>	84,13%	Keseimbangan metrik baik
<i>Kappa</i>	0,7695	Kesesuaian prediksi kuat

Nilai *kappa* 0,7695 menunjukkan kesesuaian prediksi yang kuat setelah memperhitungkan peluang kesesuaian secara acak. Hasil ini mendukung penggunaan *Random Forest* sebagai pendekatan klasifikasi awal. Namun, nilai evaluasi tersebut merepresentasikan kesesuaian terhadap data sampel yang digunakan, sehingga belum

menggantikan validasi kondisi nyata di lapangan.

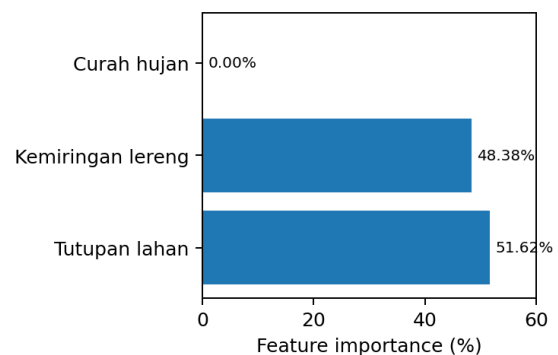
Kinerja model sejalan dengan berbagai penelitian yang menunjukkan bahwa *Random Forest* efektif untuk klasifikasi data geospasial dan tutupan lahan pada *Google Earth Engine* [7]-[8]. Perbedaan nilai akurasi antarpelelitian dapat dipengaruhi oleh jumlah kelas, kualitas sampel, variasi fitur, luas wilayah, dan strategi pembagian data.

4.4 Kontribusi Parameter

Feature importance menunjukkan bahwa tutupan lahan memiliki kontribusi terbesar sebesar 51,62%, diikuti kemiringan lereng sebesar 48,38%, sedangkan curah hujan bernilai 0,00%. Hasil tersebut ditunjukkan pada Tabel 5 dan Gambar 5.

Tabel 5. *Feature importance* Parameter

Parameter	<i>Feature importance</i>
Tutupan lahan	51,62%
Kemiringan lereng	48,38%
Curah hujan	0,00%



Gambar 5. *Feature importance* Parameter *Random Forest*

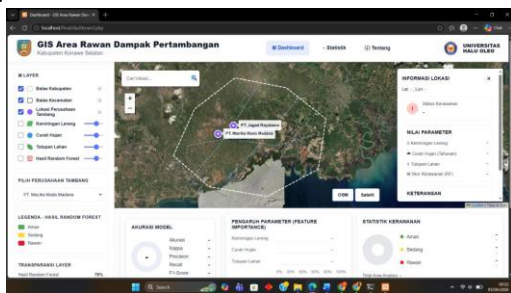
Kontribusi tutupan lahan yang paling tinggi menunjukkan bahwa perbedaan kondisi permukaan memberikan informasi paling kuat dalam membedakan kelas. Area bervegetasi, lahan terbuka, dan permukaan terbangun memiliki respons yang berbeda terhadap limpasan dan erosi [6]. Kemiringan lereng memberikan kontribusi hampir seimbang karena perubahan topografi memengaruhi arah dan kecepatan aliran serta potensi kestabilan lahan [4].

Nilai *feature importance* curah hujan sebesar 0,00% tidak berarti bahwa hujan tidak memiliki hubungan fisik dengan dampak

pertambahan. Nilai tersebut menunjukkan bahwa, pada data dan skala wilayah penelitian ini, variasi curah hujan belum memberikan pemisahan kelas tambahan setelah model menggunakan tutupan lahan dan kemiringan lereng. Kondisi ini dapat dipengaruhi oleh homogenitas nilai hujan tahunan pada area yang relatif sempit. Penggunaan deret waktu hujan, intensitas hujan ekstrem, atau resolusi data yang lebih rinci berpotensi menghasilkan kontribusi yang berbeda.

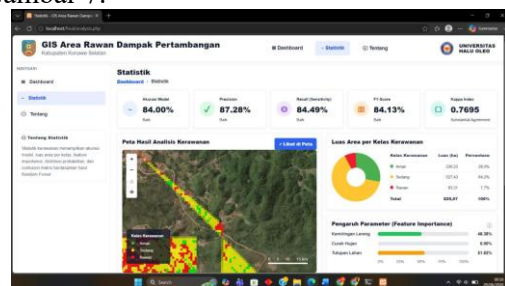
4.5 Implementasi Hasil pada Web GIS

Halaman *dashboard* menampilkan hasil klasifikasi bersama *layer* parameter dan informasi pendukung. Pengguna dapat memilih *layer*, membaca legenda, mencari desa, menampilkan informasi titik, serta melihat posisi dan informasi perusahaan tambang. Tampilan *dashboard* ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Tampilan *Dashboard* Web GIS

Halaman statistik merangkum nilai *accuracy*, *precision*, *recall*, *F1-score*, *kappa*, persentase luas kelas, peta hasil analisis, dan *feature importance*. Penyajian tersebut membantu pengguna menghubungkan informasi peta dengan hasil numerik model. Tampilan halaman statistik ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 7. Tampilan Halaman Statistik Web GIS

Implementasi Web GIS memperluas fungsi hasil penelitian dari peta statis menjadi media informasi yang dapat dieksplorasi. Pendekatan ini sejalan dengan penelitian Web GIS yang menekankan kemudahan akses,

interaktivitas, dan dukungan informasi spasial untuk pemetaan serta perencanaan [12]-[15]. Sistem yang dibangun tetap memiliki batasan karena data klasifikasi belum terhubung dengan basis data spasial yang mendukung pembaruan otomatis dan belum menyediakan mekanisme unduh laporan.

4.6 Keterbatasan dan Arah Pengembangan

Penelitian ini menggunakan tiga parameter, yaitu kemiringan lereng, curah hujan, dan tutupan lahan, serta berfokus pada area sekitar dua perusahaan tambang. Hasil klasifikasi belum dibandingkan secara langsung dengan pengamatan lapangan, sehingga kelas yang dihasilkan harus dipahami sebagai tingkat potensi berdasarkan model dan data yang digunakan. Dominasi kelas sedang dan rendahnya variasi curah hujan juga menunjukkan bahwa penambahan fitur lain diperlukan untuk menangkap proses lingkungan secara lebih lengkap.

Pengembangan penelitian berikutnya perlu menambahkan parameter yang berkaitan lebih langsung dengan dampak pertambangan, seperti jarak terhadap sungai, jarak terhadap permukiman, jenis tanah, indeks vegetasi, kepadatan vegetasi, dan jarak terhadap area tambang agar hasil klasifikasi lebih representatif. Validasi lapangan perlu dilakukan untuk membandingkan hasil model dengan kondisi sebenarnya. Selain itu, sistem Web GIS dapat dikembangkan dengan basis data spasial, fitur unduh peta atau laporan, pembaruan data secara berkala, serta perbandingan algoritma *Random Forest* dengan metode *machine learning* lainnya. Hasil penelitian ini sebaiknya tetap digunakan sebagai informasi awal, bukan sebagai dasar pengambilan keputusan resmi tanpa kajian dan validasi tambahan dari pihak terkait.

5. KESIMPULAN

- Web GIS area rawan dampak pertambangan di Kabupaten Konawe Selatan berhasil dibangun menggunakan *Random Forest* berdasarkan kemiringan lereng, curah hujan, dan tutupan lahan. Hasil klasifikasi terdiri atas kelas aman 230,23 ha (28,0%), sedang 527,43 ha (64,2%), dan rawan 63,31 ha (7,7%), sehingga wilayah penelitian didominasi kelas sedang.

- b. Model menghasilkan *accuracy* 84,00%, *precision* 87,28%, *recall* 84,49%, *F1-score* 84,13%, dan *kappa* 0,7695. Tutupan lahan menjadi parameter paling berpengaruh sebesar 51,62%, diikuti kemiringan lereng 48,38%, sedangkan curah hujan 0,00% karena variasinya belum menambah pemisahan kelas pada model ini.
- c. Hasil klasifikasi berhasil divisualisasikan melalui peta interaktif, *layer* parameter, legenda, pencarian desa, informasi titik, informasi perusahaan, dan halaman statistik. Sistem bermanfaat sebagai informasi spasial awal, tetapi belum dapat dijadikan dasar keputusan resmi tanpa validasi lapangan, penambahan parameter, dan kajian teknis dari pihak terkait.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Program Studi Teknik Informatika, Fakultas Teknik, Universitas Halu Oleo, dosen pembimbing, serta pihak-pihak yang telah memberikan dukungan data, materi, arahan, dan masukan selama pelaksanaan penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] R. Amalia, "Analisis Dampak Pertambangan terhadap Ekonomi dan Lingkungan di Provinsi Papua," *Journal of Economics Development Issues*, vol. 6, no. 1, pp. 25–32, Feb. 2023, doi: 10.33005/jedi.v6i1.154.
- [2] M. Karnoha Amir, L. O. Dzakhir, and M. Ilham Kadar, "Mapping Study Of Nickel Distribution In The Mining Area In Palangga District, Konawe Selatan Regency, Southeast Sulawesi Province," *MINETECH Journal*, vol. 1, Dec. 2022, doi: <https://doi.org/10.54297/minetech-journal.v1i2.389>.
- [3] L. Maga, Salahuddin, N. Malik, and D. Marei, "Degradasi lingkungan dan dampaknya terhadap kegiatan usaha tani di sekitar lokasi pertambangan nikel di Kabupaten Konawe Selatan, Sulawesi Tenggara," *Analisis Kebijakan Pertanian*, vol. 23, no. 1, pp. 113–133, Aug. 2025, doi: 10.21082/akp.v23n1.2025.113-133.
- [4] M. A. Lasaiba, F. S. Leuwol, W. S. Pinoa, I. Lasaiba, R. B. Riry, and S. Sandia, "INTEGRASI SIG DENGAN USLE DALAM PENILAIAN EROSI DI DAS WAIRUTUNG Integration of GIS with USLE in Erosion Assessment in the Wairutung Watershed," *Jurnal Tanah dan Sumberdaya Lahan*, vol. 10, pp. 191–201, 2023, doi: 10.21776/ub.jtsl.2023.010.2.02.
- [5] N. Ruksajai, S. Konyai, and V. Sriboonlue, "Forecasting Soil Erosion Risk Using GIS and Remote Sensing for the Nam Un Basin, Sakon Nakhon Province, Thailand," *Pol. J. Environ. Stud.*, vol. 32, no. 2, pp. 1767–1780, 2023, doi: 10.15244/pjoes/156791.
- [6] W. Gong *et al.*, "Estimating the Soil Erosion Response to Land-Use Land-Cover Change Using GIS-Based RUSLE and Remote Sensing: A Case Study of Miyun Reservoir, North China," *Water (Switzerland)*, vol. 14, no. 5, Mar. 2022, doi: 10.3390/w14050742.
- [7] T. Noi Phan, V. Kuch, and L. W. Lehnert, "Land cover classification using Google Earth Engine and Random Forest classifier-the role of image composition," *Remote Sens. (Basel)*, vol. 12, no. 15, Aug. 2021, doi: 10.3390/RS12152411.
- [8] S. Aldiansyah and R. A. Saputra, "COMPARISON OF MACHINE LEARNING ALGORITHMS FOR LAND USE AND LAND COVER ANALYSIS USING GOOGLE EARTH ENGINE (CASE STUDY: WANGGU WATERSHED)," *International Journal of Remote Sensing and Earth Sciences*, vol. 19, no. 2, pp. 197–210, 2022, doi: 10.30536/ijreses.v19i2.13716.
- [9] B. W. Nugroho, D. Rojudin, M. C. Harist, and H. A. Affandi, "Zonasi Rawan Gerakan Massa Berbasis GIS dan Integrasi Aplikasi Manajemen Bencana Berbasis Crowdsourcing di Area Pertambangan Emas Pongkor, Jawa Barat," *Indonesian Mining Professionals Journal*, vol. 4, no. 2, pp. 49–62, Dec. 2022, doi: 10.36986/impj.v4i2.72.
- [10] E. P. Pasorong, M. Chaerul, and N. Desi, "PEMETAAN RESIKO BENCANA LONGSOR MENGGUNAKAN SISTEM INFORMASI GEOGRAFIS (SIG) PADA JALAN TAMBANG PT. IFISHDECO, Tbk," *Jurnal Teknik SILITEK*, vol. 05, no. 01, 2025.
- [11] A. B. Sofyan A. P., F. Fadlin, D. Arifin, R. K. Insanu, and A. A. M. Sutaji, "Pemetaan Deforestasi dan Perubahan Tutupan Lahan di Wilayah Pertambangan Nikel Kecamatan Pomalaa Memanfaatkan Teknologi Penginderaan Jauh," *Journal of Geomatics Engineering, Technology, and Science*, vol. 2, no. 2, pp. 50–55, May 2024, doi: 10.51967/gets.v2i2.35.
- [12] M. Daud, F. M. Ugliotti, and A. Osello, "Comprehensive Analysis of the Use of Web-GIS for Natural Hazard Management: A Systematic Review," May 01, 2024, *Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI)*. doi: 10.3390/su16104238.

- [13] M. Khoirul Huda, A. Faqih, and G. Dwilestari, "MENINGKATKAN EFISIENSI PEMETAAN DAN PERENCANAAN DI KABUPATEN CIREBON MENGGUNAKAN SISTEM INFORMASI GEOSPASIAL," *Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan*, vol. 13, no. 2, Apr. 2025, doi: 10.23960/jitet.v13i2.6184.
- [14] M. L. E. Ang *et al.*, "Systematic Review of GIS and Remote Sensing Applications for Assessing the Socioeconomic Impacts of Mining," *Journal of Environment and Development*, vol. 32, no. 3, pp. 243–273, Sep. 2023, doi: 10.1177/10704965231190126.
- [15] N. Kurniadin, F. V. A. S. Prasetya, P. K. S. Hadi, and W. Feri, "PEMANFAATAN SISTEM INFORMASI GEOGRAFIS BERBASIS WEB (WEBGIS) UNTUK PEMETAAN ASET LAHAN DAN BANGUNAN POLITANI SAMARINDA," *Jurnal Sains Informasi Geografi*, vol. 6, no. 1, p. 20, May 2023, doi: 10.31314/jsig.v6i1.1359.