
Pemetaan Indeks Risiko Biofisik Lahan Penggembalaan Potensial terhadap Perubahan Iklim di Pulau Sumbawa Berbasis Google Earth Engine

Mapping Biophysical Risk Index of Potential Grazing Land to Climate Change in Sumbawa Island Using Google Earth Engine

¹Win Ariga Mansur Malonga, ¹Andi Alamsyah Rivai, ¹Erisa Ayu Waspadi Putri,

¹Prima Yustitia Nurul Islami, ¹Sasi Gendo Sari, ¹Wikan Jaya Prihantarto

¹IPB University, Kota Bogor, 16144, Indonesia

¹E-mail korespondensi: win_malonga@apps.ipb.ac.id

ABSTRAK

Lahan penggembalaan potensial di Pulau Sumbawa terancam oleh perubahan iklim, namun belum ada kajian komprehensif yang mengukur tingkat risiko biofisiknya secara spasial berbasis data satelit. Penelitian ini mengembangkan Indeks Risiko Biofisik (IRB) lahan penggembalaan potensial terhadap perubahan iklim di Pulau Sumbawa menggunakan platform Google Earth Engine (GEE). Enam indikator biofisik dari kerangka risiko IPCC digunakan, terdiri dari tiga indikator keterpaparan (tren suhu permukaan/LST, variabilitas curah hujan, dan frekuensi kekeringan) dan tiga indikator sensitivitas (kondisi vegetasi kemarau/NDVI, kehilangan tutupan padang rumput, dan kemiringan lereng). Data multitemporal dari MODIS, CHIRPS, dan SRTM periode 2014–2023 dianalisis pada 294.551 ha lahan penggembalaan potensial yang teridentifikasi dari kelas tutupan lahan MODIS (open shrublands, woody savannas, savannas, dan grasslands). Setiap indikator dinormalisasi ke skala 0–1 dan dikomposit menjadi IRB dengan bobot sama menggunakan pendekatan interval sama pada skala teoritis 0–1. Nilai IRB berkisar antara 0,13 hingga 0,63 (rata-rata $0,29 \pm 0,08$), dengan kelas K2 (risiko rendah, IRB 0,20–0,40) mendominasi seluruh kabupaten/kota sebesar 77,9% dari total lahan penggembalaan potensial (229.527 ha). Kabupaten Sumbawa Barat mencatat nilai IRB rata-rata tertinggi (0,342) sekaligus menjadi satu-satunya wilayah dengan zona risiko tinggi (K4 seluas 98 ha) yang didorong variabilitas curah hujan ekstrem ($E2 = 0,805$). Kota Bima mencatat tekanan biofisik tertinggi dari sisi frekuensi kekeringan ($E3 = 0,533$) dan tren peningkatan suhu permukaan ($E1 = 0,509$) dengan IRB rata-rata 0,338. Kelas K4 hanya ditemukan di Kabupaten Sumbawa Barat (98 ha). Hasil ini mengindikasikan bahwa lahan penggembalaan potensial Pulau Sumbawa secara umum berada pada kondisi risiko biofisik rendah, namun memerlukan pemantauan berkelanjutan terutama di Kota Bima dan Kabupaten Sumbawa Barat.

Kata kunci: Google Earth Engine, indeks risiko biofisik, lahan penggembalaan, perubahan iklim, Pulau Sumbawa

ABSTRACT

Potential grazing lands in Sumbawa Island face increasing threats from climate change, yet no comprehensive spatial assessment of their biophysical risk levels based on satellite data exists. This study developed a Biophysical Risk Index (BRI) for potential grazing lands in Sumbawa Island against climate change using Google Earth Engine (GEE). Six biophysical indicators from the IPCC risk framework were employed, comprising three exposure indicators (LST trend, rainfall variability, drought frequency) and three sensitivity indicators (dry-season NDVI, grassland cover loss, and slope). Multi-temporal data from MODIS, CHIRPS, and SRTM spanning 2014–2023 were analyzed over 294,551 ha of potential grazing land identified from MODIS land cover classes. Each indicator was normalized to a 0–1 scale and composited into the BRI with equal weights using an equal-interval classification on the theoretical 0–1 scale. BRI values ranged from 0.13 to 0.63 (mean 0.29 ± 0.08), with class K2 (low risk, BRI 0.20–0.40) dominating all districts at 77.9% of total potential grazing land (229,527 ha). West Sumbawa Regency recorded the highest mean BRI (0.342) and was the only district with high-risk zones (K4, 98 ha), driven by extreme rainfall variability ($E2 = 0.805$). Kota Bima showed the highest biophysical pressure in terms of drought frequency ($E3 = 0.533$) and LST trend ($E1 = 0.509$) with a mean BRI of 0.338. Class K4 was found only in West Sumbawa Regency (98 ha) and K5 was absent across the entire study area. These findings indicate that potential grazing lands in Sumbawa Island are generally in low biophysical risk condition, yet require continuous monitoring particularly in Kota Bima and West Sumbawa Regency.

Kata kunci: Google Earth Engine, biophysical risk index, grazing land, climate change, Sumbawa Island

PENDAHULUAN

Perubahan iklim global telah memberikan tekanan yang semakin besar terhadap keberlanjutan ekosistem padang rumput dan lahan penggembalaan (Bellard et al., 2012). Di kawasan tropis semi-arid, seperti Pulau Sumbawa, Nusa Tenggara Barat, ancaman ini berwujud dalam bentuk peningkatan suhu permukaan, pergeseran pola curah hujan, dan peningkatan frekuensi kekeringan yang dapat mendegradasi kualitas dan kuantitas hijauan pakan ternak (Nardone et al., 2010; Thornton et al., 2009).

Lahan penggembalaan di Pulau Sumbawa memiliki peran strategis dalam mendukung sistem peternakan sapi dan kerbau yang menjadi andalan ekonomi masyarakat lokal. Namun, luasan dan kualitas padang rumput di Sumbawa dilaporkan terus mengalami penurunan akibat kombinasi tekanan iklim dan alih fungsi lahan (Dahlanuddin et al., 2017). Pemahaman tentang distribusi spasial risiko biofisik menjadi sangat penting sebagai dasar perencanaan adaptasi dan pengelolaan lahan yang berkelanjutan.

Kerangka penilaian risiko IPCC (2014) yang terdiri dari komponen keterpaparan (exposure), sensitivitas (sensitivity), dan kapasitas adaptif (adaptive capacity) telah banyak digunakan dalam analisis kerentanan sistem ekologis. Namun, ketiadaan data kapasitas adaptif yang terstandarisasi untuk tingkat lokal seringkali menjadi kendala. Penelitian ini mengadopsi pendekatan Indeks Risiko Biofisik (IRB) yang hanya mengintegrasikan komponen keterpaparan dan sensitivitas, sehingga

lebih sesuai diterapkan pada konteks lokal dengan keterbatasan data (Gbetibouo dan Ringler, 2009).

Pemanfaatan Google Earth Engine (GEE) sebagai platform analisis geospasial berbasis komputasi awan memungkinkan pemrosesan data penginderaan jauh berskala besar secara efisien (Gorelick et al., 2017). Integrasi data MODIS untuk suhu permukaan, curah hujan CHIRPS, NDVI multitemporal, dan data topografi SRTM dalam satu platform analisis memberikan keunggulan dalam hal konsistensi data, efisiensi komputasi, dan replikabilitas.

Penelitian ini bertujuan untuk: (1) mengidentifikasi distribusi spasial enam indikator biofisik risiko iklim pada lahan penggembalaan potensial di Pulau Sumbawa, dan (2) memetakan Indeks Risiko Biofisik (IRB) secara spasial dengan klasifikasi lima kelas risiko. Hasil penelitian diharapkan dapat menjadi referensi ilmiah dalam perencanaan adaptasi perubahan iklim sektor peternakan di wilayah Nusa Tenggara Barat.

MATERI DAN METODE

Penelitian dilaksanakan di Pulau Sumbawa, Provinsi Nusa Tenggara Barat. Analisis geospasial dilakukan menggunakan Google Earth Engine (GEE) pada periode 2014–2023 (10 tahun). Data yang digunakan meliputi: (1) MODIS MOD11A2 v061 untuk data suhu permukaan lahan (LST); (2) CHIRPS Daily untuk data curah hujan; (3) MODIS MOD13A3 v061 untuk data NDVI bulanan, yang digunakan untuk indikator sensitivitas vegetasi (S1) sekaligus penghitungan frekuensi kekeringan berbasis VCI (E3); (4) MODIS MCD12Q1 v061 untuk klasifikasi tutupan lahan; serta (5) SRTM DEM 30m untuk data kemiringan lereng.

Enam indikator biofisik dikembangkan dari dua komponen utama kerangka risiko IPCC, yaitu keterpaparan (E) dan sensitivitas (S). Deskripsi setiap indikator beserta sumber data dan arah pengaruhnya terhadap risiko disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Deskripsi indikator biofisik IRB, sumber data, dan arah pengaruh risiko

Kode	Komponen	Indikator	Sumber Data
E1	Keterpaparan	Tren Suhu Permukaan (LST)	MODIS MOD11A2 v0611
E2	Keterpaparan	Variabilitas Curah Hujan (CV)	CHIRPS Daily
E3	Keterpaparan	Frekuensi Kekeringan	MODIS MOD13A3 v061
S1	Sensitivitas	Sensitivitas Vegetasi (NDVI inv.)	MODIS MOD13A3 v061
S2	Sensitivitas	Kehilangan Padang Rumput	MODIS MCD12Q1 v061
S3	Sensitivitas	Kemiringan Lereng	SRTM DEM 30m

Setiap indikator dinormalisasi ke rentang nilai 0-1 menggunakan metode Min-Max normalization. Untuk indikator E1, E2, E3, S2, dan S3, nilai tinggi mengindikasikan risiko tinggi. Untuk indikator S1 (NDVI), normalisasi dilakukan secara terbalik (1 - nilai ternormalisasi), sehingga nilai NDVI rendah menghasilkan skor risiko tinggi; dengan demikian arah pengaruh S1 dalam indeks menjadi positif (nilai tinggi = risiko tinggi).

IRB dihitung sebagai rata-rata berbobot sama dari keenam indikator yang telah dinormalisasi:

$$IRB = \frac{E1+E2+E3+S1+S2+S3}{6} \dots\dots\dots(1)$$

Klasifikasi IRB menggunakan pendekatan interval sama pada skala teoritis 0–1 menjadi lima kelas risiko (K1–K5), sehingga setiap kelas mencakup rentang nilai 0,20. Pendekatan ini bersifat absolut dan dapat dibandingkan lintas wilayah maupun studi lain yang menggunakan indeks komposit ternormalisasi serupa (Tabel 2).

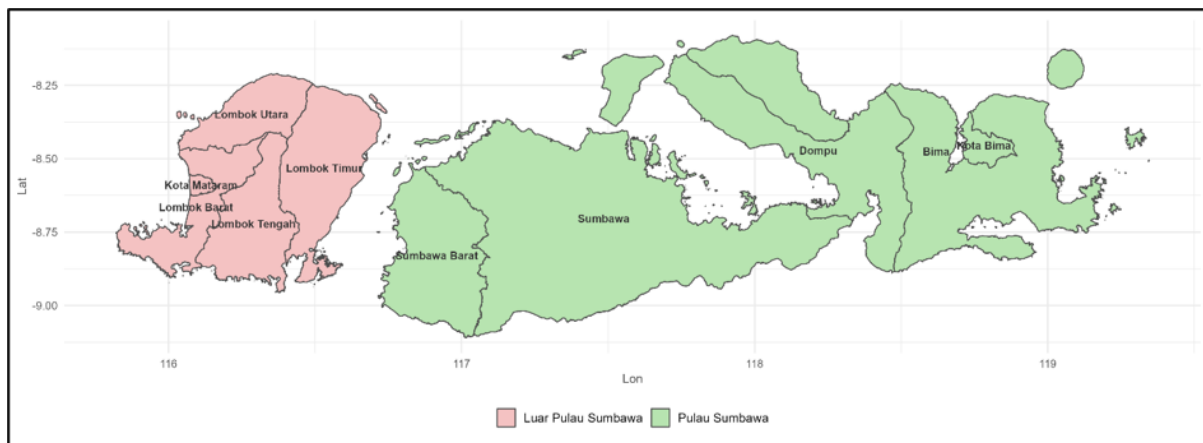
Tabel 2. Batas kelas IRB berdasarkan interval sama skala 0–1

Kelas	Deskripsi Risiko	Rentang Nilai IRB
K1	Sangat Rendah	0,00 – 0,20
K2	Rendah	0,20 – 0,40
K3	Sedang	0,40 – 0,60
K4	Tinggi	0,60 – 0,80
K5	Sangat Tinggi	0,80 – 1,00

Analisis dibatasi pada piksel yang termasuk dalam kategori lahan bervegetasi dengan karakteristik ekologis kompatibel untuk penggembalaan (potential grazing habitat), yaitu kelas tutupan lahan MODIS MCD12Q1 v061: kelas 7 (open shrublands), kelas 8 (woody savannas), kelas 9 (savannas), dan kelas 10 (grasslands). Masker dibuat dari mosaik dua epoch temporal: data awal periode (2014–2015) dan akhir periode (2022–2023), guna menangkap batas luasan fisik lahan penggembalaan potensial yang relatif stabil. Pendekatan ini tidak mengasumsikan bahwa kualitas lahan tidak berubah; justru degradasi kualitas internal di dalam batas tersebut diukur secara eksplisit melalui keenam indikator biofisik IRB.

HASIL DAN PEMBAHASAN

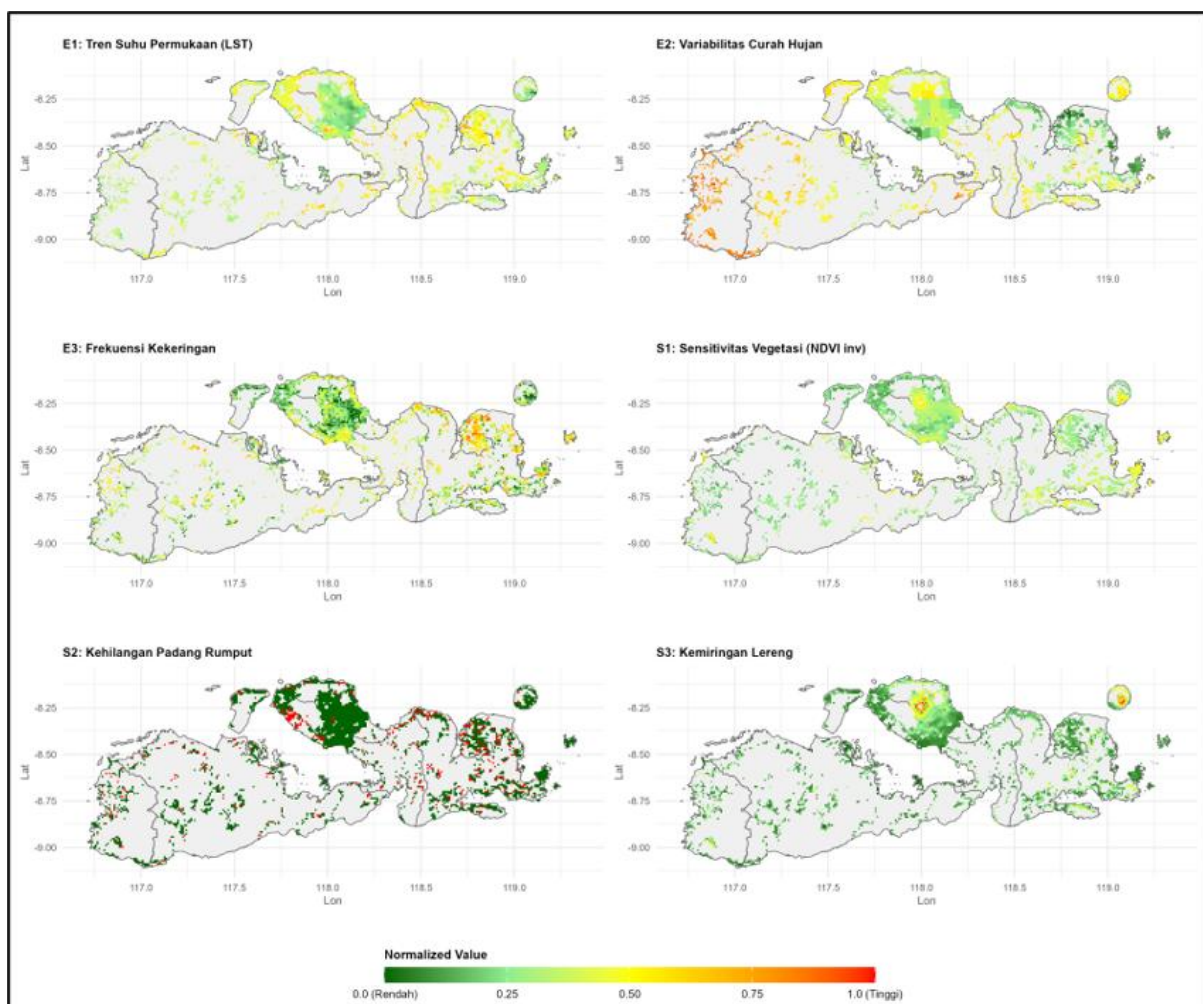
Gambar 1 menyajikan peta lokasi studi yang menunjukkan posisi Pulau Sumbawa dalam Provinsi Nusa Tenggara Barat. Sumbawa merupakan pulau terbesar di NTB dengan luas sekitar 15.414 km², yang secara administratif terbagi menjadi empat kabupaten (Sumbawa, Sumbawa Barat, Dompu, dan Bima) dan satu kota (Kota Bima).



Gambar 1. Peta lokasi studi Pulau Sumbawa dalam Provinsi Nusa Tenggara Barat.

Distribusi Spasial Enam Indikator Biofisik

Gambar 2 menyajikan distribusi spasial keenam indikator biofisik setelah normalisasi (0–1). Dari sisi keterpaparan, Kota Bima mencatat nilai E1 (tren LST) tertinggi (0,509), mengindikasikan laju peningkatan suhu permukaan paling cepat selama 2014–2023. Variabilitas curah hujan (E2) paling tinggi ditemukan di Kabupaten Sumbawa Barat (0,805), jauh di atas rata-rata pulau (0,420), menunjukkan ketidakstabilan curah hujan yang signifikan. Frekuensi kekeringan (E3) tertinggi tercatat di Kota Bima (0,533), konsisten dengan karakteristik iklimnya yang lebih kering dibandingkan kabupaten lain. Dari sisi sensitivitas, Kabupaten Bima memiliki nilai S1 (NDVI musim kemarau, diinversi) tertinggi (0,313), mencerminkan kondisi vegetasi kemarau paling rentan. Kehilangan tutupan padang rumput (S2) terbesar terjadi di Kota Bima (0,294), sedangkan kemiringan lereng (S3) tertinggi ditemukan di Kabupaten Bima (0,229), yang berkontribusi pada sensitivitas erosi lahan penggembalaan di wilayah tersebut.

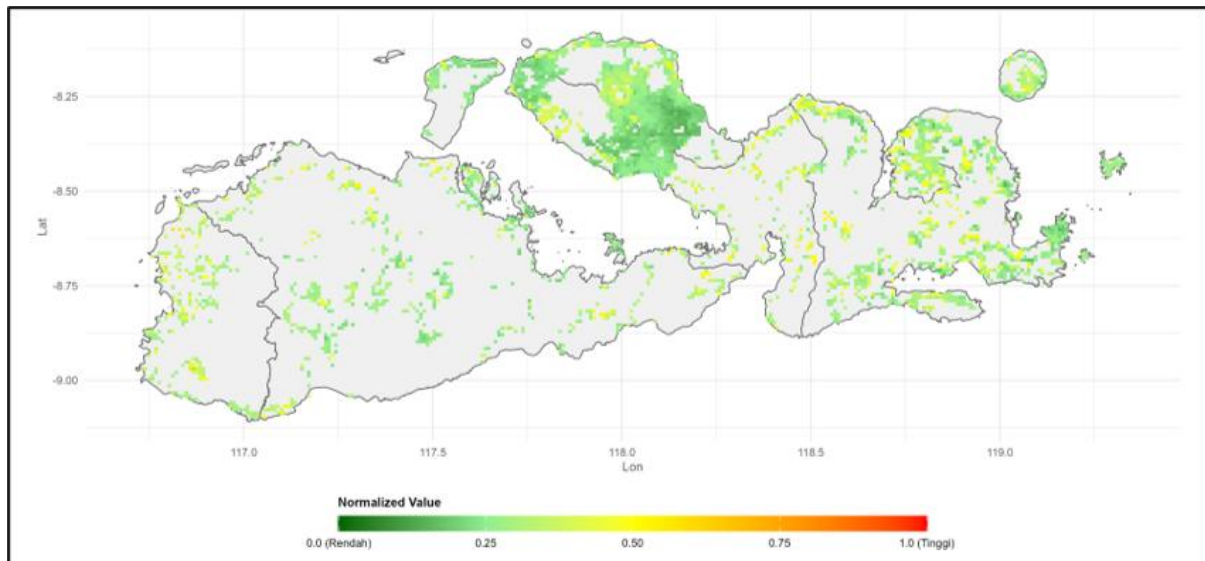


Gambar 2. Distribusi spasial enam indikator biofisik ternormalisasi (0-1) pada lahan penggembalaan potensial Pulau Sumbawa. Hijau = risiko rendah; merah = risiko tinggi.

Indeks Risiko Biofisik (IRB) Kontinu

Gambar 3 menyajikan peta IRB kontinu yang mencerminkan gradasi risiko biofisik. Nilai IRB pada lahan penggembalaan potensial Pulau Sumbawa berkisar antara 0,13 hingga 0,63 (rata-rata $0,29 \pm 0,08$). Distribusi nilai yang terkonsentrasi di

bawah 0,40 mencerminkan kondisi biofisik lahan penggembalaan Sumbawa yang secara umum belum mengalami tekanan perubahan iklim yang tinggi. Kabupaten Sumbawa Barat mencatat nilai IRB rata-rata tertinggi (0,342), diikuti Kota Bima (0,338), Kabupaten Sumbawa (0,295), Kabupaten Bima (0,289), dan Kabupaten Dompu (0,281). Statistik deskriptif lengkap per kabupaten/kota disajikan pada Tabel 3.



Gambar 3. Peta Indeks Risiko Biofisik (IRB) kontinu pada lahan penggembalaan potensial Pulau Sumbawa. Hijau = risiko rendah; merah = risiko tinggi.

Tabel 3. Statistik deskriptif nilai IRB per kabupaten/kota di Pulau Sumbawa

Kab/Kota	IRB Min	IRB Max	IRB Mean
Kab. Sumbawa	0,17	0,55	0,295
Kab. Sumbawa Barat	0,25	0,63	0,342
Kab. Dompu	0,16	0,54	0,281
Kab. Bima	0,13	0,55	0,289
Kota Bima	0,19	0,51	0,338

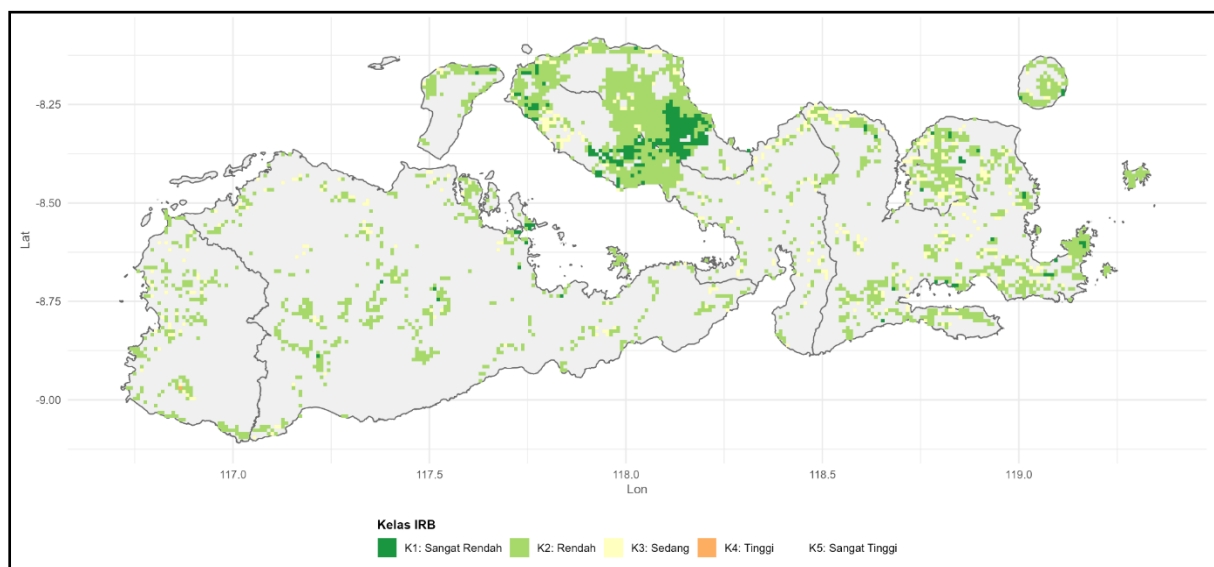
Klasifikasi IRB dan Sebaran Kelas Risiko

Gambar 4 menyajikan peta klasifikasi IRB menjadi lima kelas risiko (K1–K5) berdasarkan interval sama pada skala 0–1. Tabel 4 merangkum luas dan proporsi setiap kelas risiko secara keseluruhan, sedangkan Tabel 5 menyajikan distribusi persentase kelas per kabupaten/kota. Kelas K5 (Sangat Tinggi, IRB > 0,80) tidak dijumpai pada seluruh wilayah studi sehingga tidak tampak pada peta klasifikasi.

Tabel 4. Luas dan proporsi kelas risiko IRB di Pulau Sumbawa

Kelas	Deskripsi	Luas (ha)	Proporsi (%)
K1	Sangat Rendah	24.456	8,3
K2	Rendah	229.527	77,9
K3	Sedang	40.470	13,7
K4	Tinggi	98	0,03
K5	Sangat Tinggi	0	0,0
Total		294.551	100

Tabel 4 menunjukkan bahwa secara agregat, lahan penggembalaan potensial Pulau Sumbawa didominasi oleh kelas K2 (risiko rendah) seluas 229.527 ha (77,9% dari total 294.551 ha), diikuti kelas K3 (risiko sedang) seluas 40.470 ha (13,7%). Proporsi K3 yang mencapai lebih dari sepersepuluh total luasan menunjukkan bahwa sebagian lahan penggembalaan telah mengakumulasi tekanan biofisik dari beberapa indikator secara bersamaan, meskipun belum melampaui ambang risiko tinggi. Kelas K4 (risiko tinggi) hanya tercatat 98 ha (0,03%), sementara kelas K1 (risiko sangat rendah) seluas 24.456 ha (8,3%) mencerminkan adanya kantong-kantong lahan dengan kondisi biofisik paling stabil. Distribusi ini secara keseluruhan mengindikasikan bahwa Pulau Sumbawa belum memasuki fase risiko biofisik kritis, namun tekanan pada kelas K3 perlu dipantau sebagai indikasi awal peningkatan risiko.



Gambar 4. Peta klasifikasi IRB lahan penggembalaan potensial Pulau Sumbawa menjadi lima kelas (K1 = sangat rendah, hijau tua; K5 = sangat tinggi, merah)

Tabel 5. Distribusi persentase kelas IRB per kabupaten/kota di Pulau Sumbawa

Kab/Kota	K1 (%)	K2 (%)	K3 (%)	K4 (%)	K5 (%)	Total (ha)
Kab. Sumbawa	2,4	86,1	11,5	0,0	0,0	63.486
Kab. Sumbawa Barat	0,0	83,9	15,7	0,5	0,0	20.434
Kab. Dompu	13,0	72,3	14,7	0,0	0,0	59.924
Kab. Bima	10,7	76,2	13,1	0,0	0,0	140.650
Kota Bima	1,0	71,6	27,4	0,0	0,0	10.057
Total						294.551

Sebaran kelas risiko per kabupaten/kota (Tabel 5) memperlihatkan variasi spasial yang konsisten dengan nilai IRB rata-rata masing-masing wilayah. Kelas K2 (risiko rendah, IRB 0,20–0,40) mendominasi seluruh kabupaten/kota dengan proporsi 71,6–86,1% dari lahan penggembalaan potensial masing-masing wilayah. Kabupaten Sumbawa memiliki proporsi K2 tertinggi (86,1%), diikuti Kabupaten Sumbawa Barat (83,9%), Kabupaten Bima (76,2%), Kabupaten Dompu (72,3%), dan Kota Bima (71,6%). Perhatian utama ditujukan pada Kabupaten Sumbawa Barat yang menjadi satu-satunya wilayah dengan kelas risiko tinggi (K4 seluas 98 ha atau 0,5% dari lahan penggembalaan potensial di kabupaten tersebut), didorong oleh variabilitas curah

hujan yang ekstrem ($E2 = 0,805$). Kelas K3 (risiko sedang) memiliki proporsi tertinggi di Kota Bima (27,4%), konsisten dengan nilai $E3$ (frekuensi kekeringan = 0,533) dan $E1$ (tren LST = 0,509) yang tertinggi di antara seluruh kabupaten/kota. Kelas K1 (risiko sangat rendah) paling banyak ditemukan di Kabupaten Dompu (13,0%) dan Kabupaten Bima (10,7%), sesuai dengan nilai IRB rata-rata kedua kabupaten tersebut yang terendah di Pulau Sumbawa (masing-masing 0,281 dan 0,289). Perlu ditegaskan bahwa IRB mengukur tingkat risiko biofisik iklim, bukan produktivitas lahan. Kelas K1 mengindikasikan lahan dengan paparan iklim dan sensitivitas biofisik paling rendah di antara lahan penggembalaan potensial, bukan berarti lahan paling produktif.

KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil memetakan Indeks Risiko Biofisik (IRB) lahan penggembalaan potensial terhadap perubahan iklim di Pulau Sumbawa menggunakan platform Google Earth Engine dengan analisis data multitemporal 2014–2023. Nilai IRB pada 294.551 ha lahan penggembalaan potensial berkisar antara 0,13 hingga 0,63 (rata-rata $0,29 \pm 0,08$), jauh di bawah ambang kelas risiko tinggi ($IRB > 0,60$), mengindikasikan bahwa kondisi biofisik lahan penggembalaan Pulau Sumbawa secara umum masih dalam kategori rendah hingga sedang.

Kelas K2 (risiko rendah) mendominasi seluruh wilayah dengan proporsi 77,9% dari total lahan penggembalaan potensial (229.527 ha), sementara kelas K4 hanya ditemukan di Kabupaten Sumbawa Barat (98 ha) dan kelas K5 tidak dijumpai sama sekali. Kabupaten Sumbawa Barat mencatat nilai IRB rata-rata tertinggi (0,342) dan menjadi satu-satunya wilayah dengan zona risiko tinggi (K4 seluas 98 ha) yang didorong oleh variabilitas curah hujan ekstrem ($E2 = 0,805$), sedangkan Kota Bima mencatat tekanan biofisik tertinggi melalui frekuensi kekeringan ($E3 = 0,533$) dan tren peningkatan suhu permukaan ($E1 = 0,509$). Pendekatan IRB berbasis GEE yang dikembangkan terbukti efisien dan replikatif, serta dapat diterapkan pada wilayah lain dengan karakteristik semi-arid serupa sebagai landasan ilmiah penyusunan strategi adaptasi perubahan iklim sektor peternakan di Provinsi Nusa Tenggara Barat.

DAFTAR PUSTAKA

- Bellard, C., Bertelsmeier, C., Leadley, P., Thuiller, W., & Courchamp, F. (2012). Impacts of climate change on the future of biodiversity. *Ecology Letters*, 15(4), 365-377. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2011.01736.x>
- Gbetibouo, G. A., & Ringler, C. (2009). Mapping South African Farming Sector Vulnerability to Climate Change and Variability: A Subnational Assessment. IFPRI Discussion Paper 00885. International Food Policy Research Institute.
- Gorelick, N., Hancher, M., Dixon, M., Ilyushchenko, S., Thau, D., & Moore, R. (2017). Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote Sensing of Environment*, 202, 18-27. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.06.031>
- IPCC. (2014). Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press.

- Nardone, A., Ronchi, B., Lacetera, N., Ranieri, M. S., & Bernabucci, U. (2010). Effects of climate change on animal production and sustainability of livestock systems. *Livestock Science*, 130(1-3), 57-69. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2010.02.011>
- Dahlanuddin, Muzani, Abdullah, L., Lisson, S. N., Zulfan, Panjaitan, T., Tiven, N. C., & Shelton, H. M. (2017). Assessing the sustainable development and intensification potential of beef cattle production in Sumbawa, Indonesia, using a system dynamics approach. *PLOS ONE*, 12(8), e0183365. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0183365>
- Thornton, P. K., van de Steeg, J., Notenbaert, A., & Herrero, M. (2009). The impacts of climate change on livestock and livestock systems in developing countries: A review of what we know and what we need to know. *Agricultural Systems*, 101(3), 113-127. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2009.05.002>