



Analisis Spasial Kerawanan Banjir Rob Menggunakan Metode *Complete Mapping Analysis* (CMA) Berbasis SIG di Kabupaten Mamuju

Ahmad Gunadi^{1*}, Wahyu Hidayat², Rusman³, Indra Maryam⁴

^{1,2,3,4} Program Studi Perencanaan Wilayah dan Kota, FSAINTEK, Universitas Muhammadiyah Palopo. Indonesia
Jl. Jenderal Sudirman No. Km. 03, Binturu, Kecamatan Wara Selatan, Kota Palopo, Sulawesi Selatan 91922

E-Mail *: ahmadgunadi0123@gmail.com

ABSTRACT

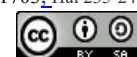
The coastal area of Mamuju Regency, the capital of West Sulawesi Province, faces escalating tidal flood (Rob) pressure driven by sea level rise and tidal cycle fluctuations. This study maps the spatial distribution of tidal flood hazard zones using the Complete Mapping Analysis (CMA) method integrated with Geographic Information System (GIS). Unlike conventional weighted overlay approaches, CMA incorporates the ratio of Observed Value (Oi) to Expected Value (Ei) of flood occurrences per spatial unit, yielding a more objective hazard classification. Six weighted biophysical parameters were analyzed: land elevation, distance from coastline, distance from rivers, slope, land cover, and soil type. Weights were derived from literature consensus and validated through expert judgment. Across the 5,115.56-hectare study area, results indicate that 260.84 ha (5.27%) falls in the high-hazard zone, 1,007.56 ha (20.34%) in the moderate-hazard zone, and 3,847.16 ha (77.65%) in the low-hazard zone. High-hazard zones concentrate along the western coastal strip, particularly near river estuaries and settlements below 2 meters elevation. Validation against BPBD historical flood data (2019–2025) yielded 82.5% overall accuracy. Cross-analysis with land-use data reveals that 18.5 ha of settlements occupy high-hazard zones (N2 – Not Suitable) and 19.1 ha fall in moderate-hazard zones (S3 – Marginally Suitable). This study contributes a field-validated CMA–Oi/Ei framework for tropical coastal hazard mapping in West Sulawesi, providing a spatial evidence base for RTRW and RZWP3K policy revision.

Keywords: Tidal Flood, CMA Method, Hazard Zonation, GIS, Spatial Planning

ABSTRAK

Wilayah pesisir Kabupaten Mamuju ibu kota Provinsi Sulawesi Barat, menghadapi tekanan banjir Rob yang semakin meningkat akibat kenaikan muka air laut dan fluktuasi siklus pasang surut. Penelitian ini memetakan distribusi spasial zona bahaya banjir Rob menggunakan metode *Complete Mapping Analysis* (CMA) yang diintegrasikan dengan Sistem Informasi Geografis (SIG). Berbeda dengan pendekatan *weighted overlay* konvensional, CMA menginkorporasi rasio Nilai Teramati (Oi) terhadap Nilai Harapan (Ei) kejadian banjir per satuan spasial, sehingga menghasilkan klasifikasi bahaya yang lebih objektif. Enam parameter biofisik dengan pembobotan dianalisis, meliputi elevasi lahan, jarak dari garis pantai, jarak dari sungai, kemiringan lereng, tutupan lahan, dan jenis tanah. Bobot parameter ditetapkan berdasarkan konsensus literatur dan divalidasi melalui penilaian pakar. Pada area kajian seluas 5.115,56 hektare, hasil menunjukkan bahwa 260,84 ha (5,27%) termasuk zona bahaya tinggi, 1.007,56 ha (20,34%) zona bahaya sedang, dan 3.847,16 ha (77,65%) zona bahaya rendah. Zona bahaya tinggi terkonsentrasi di sepanjang jalur pesisir barat, khususnya di sekitar muara sungai dan permukiman pada elevasi di bawah 2 meter. Validasi terhadap data kejadian banjir historis BPBD (2019–2025) menghasilkan akurasi keseluruhan sebesar 82,5%. Analisis silang dengan data penggunaan lahan menunjukkan bahwa 18,5 ha permukiman berada di zona bahaya tinggi (N2 – Tidak Sesuai) dan 19,1 ha di zona bahaya sedang (S3 – Sesuai Bersyarat). Penelitian ini berkontribusi pada pengembangan kerangka CMA–Oi/Ei yang tervalidasi lapangan untuk pemetaan bahaya pesisir tropis di Sulawesi Barat, sebagai dasar bukti spasial bagi revisi kebijakan RTRW dan RZWP3K.

Kata Kunci: Banjir Rob, Metode CMA, Zonasi Kerawanan, SIG, Perencanaan Wilayah



1. PENDAHULUAN

Fenomena banjir Rob atau *high tide flooding* (HTF) merupakan ancaman hidrologis yang semakin intensif di kawasan pesisir Indonesia akibat interaksi antara kenaikan muka air laut global (*sea level rise*/SLR) dan dinamika pasang surut jangka panjang. Kabupaten Mamuju, sebagai ibu kota Provinsi Sulawesi Barat, memiliki karakteristik geomorfologi dataran rendah pesisir yang berbatasan langsung dengan Selat Makassar sehingga sangat rentan terhadap ancaman tersebut (Hermawan dkk., 2024). Laju urbanisasi yang tinggi dan konversi lahan pesisir yang masif semakin memperparah kondisi kerentanan fisik kawasan ini.

Secara global, IPCC (2021) memproyeksikan kenaikan muka air laut rata-rata antara 0,32–1,01-meter pada akhir abad ke-21 tergantung skenario emisi, jauh melampaui estimasi laporan sebelumnya. Kondisi ini menyebabkan komponen-komponen level air yang sebelumnya tidak cukup untuk memicu banjir kini sudah mampu melampaui ambang batas genangan (Li dkk., 2022). Enríquez dkk. (2022) membuktikan bahwa siklus pasang surut jangka panjang 4,4 tahun dan 18,6 tahun secara signifikan memodulasi estimasi risiko banjir pasang dan total luas area genangan, sebuah faktor yang selama ini sering diabaikan dalam pemodelan risiko banjir Rob konvensional.

Di kawasan pesisir Mamuju, interaksi antara pasang surut dan fenomena atmosferik lokal seperti badai angin barat menambah kompleksitas ancaman ini. Yonehara dan Kawasaki (2020) menegaskan bahwa genangan banjir di lingkungan delta disebabkan oleh limpasan sungai dan pasang surut air laut secara bersamaan, di mana risiko tersebut diperburuk oleh faktor pendorong komposit seperti perubahan iklim. Dampak banjir Rob pun bersifat multidimensional, meliputi kerusakan infrastruktur, intrusi air asin ke akuifer pesisir (Heiss dkk., 2022; LeRoux dkk., 2023), gangguan mata pencaharian nelayan, dan potensi degradasi kawasan pesisir menjadi kumuh (Sahana, 2021).

Sistem Informasi Geografis (SIG) dan analisis spasial telah terbukti menjadi instrumen efektif dalam pemetaan kerawanan banjir Rob. Beberapa pendekatan telah digunakan, di antaranya *weighted overlay* (Rakuasa & Latue, 2023), *Analytical Hierarchy Process* (AHP), dan *Fuzzy Logic*. Namun, metode-metode tersebut bersifat statis dalam pemberian bobot karena tidak mempertimbangkan frekuensi kejadian aktual di lapangan. Mursid dkk. (2025) dan Sahid dkk. (2022) membuktikan bahwa metode *Complete Mapping Analysis* (CMA) unggul karena secara eksplisit mengintegrasikan distribusi spasial observasi aktual kejadian banjir (Oi) terhadap ekspektasi teoritis (Ei) berdasarkan luasan wilayah, menghasilkan klasifikasi kerawanan yang lebih objektif dan representatif.

Studi terdahulu di Kabupaten Mamuju umumnya berfokus pada mitigasi bencana gempa bumi dan tsunami. Kajian yang secara spesifik memetakan

kerawanan banjir Rob berbasis analisis spasial multi-parameter terstandar di wilayah ini masih sangat terbatas. Penelitian yang ada umumnya menggunakan metode skoring statis tanpa mempertimbangkan distribusi kejadian aktual (Hidayah & Nugroho, 2024), serta belum mengintegrasikan hasil zonasi dengan analisis kesesuaian lahan permukiman secara eksplisit untuk keperluan revisi kebijakan tata ruang. Kesenjangan inilah yang menjadi dasar penerapan metode CMA dalam penelitian ini.

Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan: (1) menganalisis dan memetakan distribusi spasial zona kerawanan banjir Rob di Kabupaten Mamuju menggunakan metode CMA berbasis SIG; dan (2) mengintegrasikan hasil zonasi kerawanan dengan peta penggunaan lahan eksisting untuk menghasilkan arahan kesesuaian lahan permukiman dan rekomendasi penataan ruang adaptif.

Kebaruan (*novelty*) penelitian ini mencakup tiga aspek: (1) penerapan metode CMA dengan komponen Oi/Ei pada analisis kerawanan banjir Rob di kawasan pesisir Sulawesi Barat yang secara eksplisit mengintegrasikan frekuensi kejadian aktual ke dalam sistem pembobotan, sebuah aspek yang absen dalam studi serupa di kawasan ini; (2) validasi hasil zonasi terhadap data titik genangan historis Badan Penanggulangan Bencana Daerah (BPBD) Kabupaten Mamuju; dan (3) artikulasi langsung hasil analisis kesesuaian lahan permukiman sebagai rekomendasi revisi RTRW Kabupaten Mamuju dan RZWP3K Provinsi Sulawesi Barat.

2. METODE

2.1 Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Kabupaten Mamuju, Provinsi Sulawesi Barat, yang secara geografis berada pada koordinat 1°38'11" – 2°54'0" Lintang Selatan dan 119°21'0" – 119°43'0" Bujur Timur. Wilayah kajian mencakup kawasan pesisir barat Kabupaten Mamuju meliputi sebelas kecamatan, dengan total area analisis 5.115,56 hektare. Penelitian dilaksanakan pada bulan Januari–Juli 2026.

2.2 Data dan Sumber Data

Data yang digunakan terdiri dari data spasial primer dan sekunder. Data primer berupa pengamatan lapangan untuk verifikasi kondisi aktual zona kerawanan dan wawancara terstruktur dengan masyarakat. Data sekunder meliputi: (1) data Digital Elevation Model (DEM) resolusi 8,1 meter dari portal DEMNAS Badan Informasi Geospasial (BIG); (2) citra Sentinel-2A resolusi 10 meter dari European Space Agency (ESA); (3) Peta Rupa Bumi Indonesia (RBI) skala 1:25.000; (4) peta jenis tanah semi-detail skala 1:25.000 dari Pusat Pengembangan Infrastruktur Data Spasial (PPIDS); (5) data garis pantai dan jaringan sungai dari BIG; (6) data permukiman eksisting dari Dinas PUPR Kabupaten Mamuju; dan (7) data titik kejadian banjir Rob

historis periode 2019–2025 dari BPBD Kabupaten Mamuju.

2.3 Metode Analisis

Kerangka analisis penelitian ini mengikuti alur input-process-output (IPO). Input berupa enam parameter biofisik beserta sumber datanya. Proses meliputi: (a) preprocessing dan klasifikasi data; (b) pembobotan berbasis literatur dan expert judgment; (c) overlay spasial dengan metode CMA; dan (d) validasi hasil zonasi. Output berupa peta zonasi kerawanan banjir Rob dan peta kesesuaian lahan permukiman berbasis risiko

Tahap pertama adalah preprocessing dan klasifikasi data: setiap parameter dikelaskan berdasarkan tingkat pengaruhnya terhadap risiko genangan, kemudian diberi skor 1–4 (skor 4 = paling rawan). Tahap kedua adalah pembobotan: setiap parameter diberi bobot berdasarkan kajian literatur terdahulu (Al Fauzi, 2022; Ismanto dkk. (2021)) yang dikonfirmasi melalui expert judgment dari tiga pakar hidrologi pesisir. Justifikasi bobot setiap parameter disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Parameter, Bobot, dan Kelas Skoring Analisis Kerawanan Banjir Rob

No	Parameter	Bobot (B)	Skor (S)	Total Skor (S×B)	Luas (ha)	%
1	Ketinggian Lahan	4	1–4	4–16	98,75	–
2	Jarak dari Pantai	10	1–4	10–40	264,53	–
3	Jarak dari Sungai	3	1–4	3–12	101,64	–
4	Kemiringan Lereng	5	1–4	5–20	1.338,53	–
5	Tutupan Lahan	2	1–4	2–8	625,13	–
6	Jenis Tanah	1	1–4	1–4	329,69	–
	Jumlah Bobot	25	–	21–100	–	–

Sumber: Modifikasi dari Al Fauzi (2022); divalidasi expert judgment.

2.4 Tahapan Metode CMA

Metode *Complete Mapping Analysis* (CMA) membedakan diri dari weighted overlay statis konvensional melalui penghitungan indeks kerawanan relatif berbasis kejadian aktual. Tahapan CMA yang diterapkan adalah sebagai berikut:

Pertama, penghitungan *Observed Value* (Oi): frekuensi kejadian banjir Rob aktual (2019–2025) yang terjadi pada setiap kelas parameter dihitung dari data BPBD Kabupaten Mamuju. Kedua,

penghitungan *Expected Value* (Ei): nilai ekspektasi teoritis dihitung berdasarkan proporsi luasan setiap kelas parameter terhadap total luas wilayah kajian ($Ei = \text{proporsi luas kelas} \times \text{total kejadian}$). Ketiga, penghitungan Rasio Oi/Ei sebagai indeks kerawanan relatif: nilai Oi/Ei > 1 menunjukkan kelas tersebut lebih sering terdampak banjir Rob daripada yang diperkirakan berdasarkan luasannya, sehingga memperoleh bobot lebih besar dalam skoring akhir.

Keempat, tahap overlay dan klasifikasi: nilai kerawanan total dihitung menggunakan formula pembobotan linier.

$$K = \sum (Wi \times Xi), \quad i = 1, 2, 3, \dots, 6 \quad (1)$$

Keterangan: K adalah nilai kerawanan total; Wi adalah bobot parameter ke-i yang telah disesuaikan dengan indeks Oi/Ei; dan Xi adalah skor kelas parameter ke-i. Nilai K minimum = 21 dan maksimum = 100. Berdasarkan formula interval: $i = (K_{\max} - K_{\min})/n = 79/3 \approx 26$, sehingga klasifikasi kerawanan ditetapkan: Tidak Rawan ($K < 48$), Cukup Rawan ($48 \leq K \leq 74$), dan Rawan ($K > 74$). Seluruh proses analisis spasial dilakukan menggunakan perangkat lunak QGIS.

2.5 Validasi dan Analisis Sensitivitas

Validasi dilakukan dengan dua pendekatan: (1) overlay peta zonasi kerawanan dengan 48 titik kejadian banjir Rob historis (2019–2025) dari BPBD Kabupaten Mamuju; dan (2) wawancara terstruktur dengan 30 responden masyarakat pesisir yang pernah mengalami banjir Rob untuk konfirmasi lapangan. Akurasi keseluruhan dihitung menggunakan confusion matrix.

Analisis sensitivitas bobot dilakukan menggunakan metode *one-at-a-time* (OAT): bobot setiap parameter diubah $\pm 20\%$ secara bergantian sementara bobot parameter lain tetap. Perubahan luas zonasi yang dihasilkan dicatat untuk mengidentifikasi parameter yang paling sensitif terhadap perubahan bobot.

3. PEMBAHASAN

3.1 Gambaran Umum Wilayah Kajian

Kabupaten Mamuju merupakan ibu kota Provinsi Sulawesi Barat yang berbatasan langsung dengan Selat Makassar di bagian barat. Karakteristik geomorfologinya menunjukkan dominasi topografi berbukit di bagian timur dan pedalaman, sementara bagian barat merupakan dataran rendah aluvial pesisir yang sangat rentan terhadap dinamika hidrodinamika laut. Fenomena banjir Rob secara konsisten terjadi di kawasan pesisir Mamuju pada periode pasang spring tide, terutama saat bertepatan dengan angin barat yang meningkatkan tinggi muka air laut secara temporer (Piecuch dkk., 2022). Harvia dkk. (2024) menegaskan bahwa analisis spasial bencana berbasis SIG merupakan langkah awal yang strategis dalam

Kawasan dengan elevasi 0–2-meter tersebar di sepanjang garis pantai barat Mamuju. Faktor antropogenik turut berkontribusi: konversi lahan mangrove menjadi permukiman nelayan selama dua dekade terakhir telah menghilangkan fungsi buffer alami yang sebelumnya meredam dampak pasang surut. Wilayah kelas ketinggian >2–3-meter (28,87 ha) dan >3–4 meter (21,33 ha) berpotensi terdampak apabila Rob bertepatan dengan badai lokal (storm surge). Li dkk. (2022) membuktikan bahwa kenaikan muka air laut jangka panjang menyebabkan peristiwa banjir pasang surut lebih sering terjadi karena ambang batas banjir menjadi lebih mudah dilewati oleh fluktuasi level air harian.



Ketinggian lahan merupakan determinan fisik paling kritis dalam analisis kerawanan banjir Rob karena secara langsung menentukan kemampuan suatu wilayah tergenang oleh air laut. Data DEM resolusi 8,1-meter menunjukkan bahwa wilayah Kabupaten Mamuju didominasi oleh lahan dengan ketinggian >4 -meter (98,02%), namun terdapat dataran rendah pesisir pada ketinggian 0–2-meter seluas 48,22 ha (0,97%) yang mendapatkan skor tertinggi (skor 4) sebagai zona paling rawan genangan (Tabel 2).

No	Kelas Ketinggian	S	B	Total (S×B)	Luas (ha)	%
1	< 2 Meter	4	4	16	48,22	0,97
2	> 2–3 Meter	3	4	12	28,87	0,58
3	> 3–4 Meter	2	4	8	21,33	0,43
4	> 4 Meter	1	4	4	4.856,14	98,02
Jumlah					4.954,56	100

Jarak dari garis pantai mendapatkan bobot tertinggi (bobot 10) mengingat perannya sebagai faktor paling determinan dalam menentukan jangkauan pasang air laut ke daratan. Proses multi ring *buffer* dengan interval 250-meter menghasilkan empat kelas jarak. Zona 0–250 m dari pantai seluas 85,94 ha (1,68%) mendapat skor 4 (total nilai 40), merupakan zona yang paling berpotensi terdampak banjir Rob secara langsung (Tabel 3).

No	Kelas Jarak dari Pantai	S	B	Total (S×B)	Luas (ha)	%
1	Jarak 0–250 m dari garis pantai	4	10	40	85,94	1,68
2	Jarak >250–500 m dari garis pantai	3	10	30	87,02	1,70
3	Jarak >500–750 m dari garis pantai	2	10	20	91,57	1,79
4	Jarak >750 m dari garis pantai	1	10	10	4.851,03	94,83
	Jumlah				5.115,56	100

Gambar 2 Peta Ketinggian Lahan



Kawasan dalam jangkauan 750-meter dari garis pantai secara kolektif mencakup 264,53 ha (5,17%) dan menjadi zona prioritas intervensi mitigasi. Macías-Tapia dkk. (2021) menegaskan bahwa kenaikan muka air laut meningkatkan frekuensi banjir pasang di kawasan pesisir, mengangkut materi antara sistem terestrial dan lingkungan akuatik yang merusak ekosistem dan infrastruktur. Zona ini umumnya ditempati oleh permukiman nelayan dan fasilitas dermaga yang memiliki keterbatasan infrastruktur proteksi Pantai.

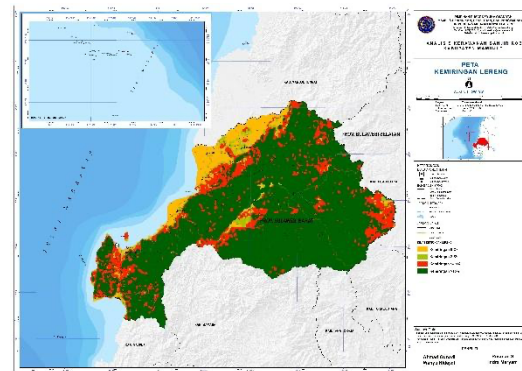
3.4 Analisis Parameter Jarak dari Sungai dan Kemiringan Lereng

Jarak dari sungai (bobot 3) berperan penting mengingat potensi arus balik (back-water effect) saat pasang tertinggi. Zona 0–100-meter dari sungai seluas 41,25 ha mendapat skor 4 (total nilai 12). Yonehara dan Kawasaki (2020) membuktikan bahwa interaksi komposit antara limpasan sungai dan pasang surut menghasilkan genangan yang jauh lebih parah dibandingkan masing-masing faktor secara terpisah. Kemiringan lereng (bobot 5) mendapatkan bobot tinggi karena menentukan kemampuan lahan mempertahankan dan mengalirkan genangan. Kelas kemiringan 5–15% seluas 776,15 ha (15,67%) mendapat skor 4 dengan total nilai 20 – pada kemiringan ini genangan dapat terakumulasi sebelum mengalir keluar (Tabel 4).

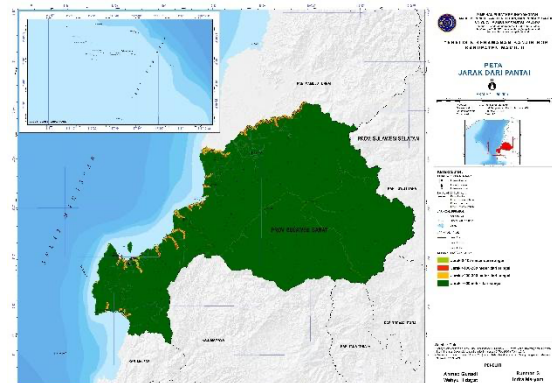
Tabel 4. Luas Kelas Kemiringan Lereng di Kabupaten Mamuju

No	Kelas Kemiringan Lereng	S	B	Total (S×B)	Luas (ha)	%
1	Kemiringan 5–15%	4	5	20	776,15	15,67
2	Kemiringan 2–5%	3	5	15	154,56	3,12
3	Kemiringan 0–2%	2	5	10	407,82	8,23
4	Kemiringan >15%	1	5	5	3.616,03	72,98
Jumlah					4.954,56	100

Distribusi lahan dengan kemiringan 0–5% yang berpotensi mengalami akumulasi genangan terkonsentrasi di dataran aluvial pesisir barat Mamuju. Reklamasi dan pembangunan permukiman pada lahan dengan kemiringan mendekati nol di kawasan ini semakin mempersempit kapasitas drainase alamiah. Hal ini bersesuaian dengan temuan Wirayuda dkk. (2020) di Kabupaten Gianyar bahwa kemiringan 0–3% menjadi faktor determinan genangan berkepanjangan.



Gambar 4 Peta Kemiringan Lereng



Gambar 5 Peta Jarak dari Sungai

3.5 Analisis Parameter Tutupan Lahan dan Jenis Tanah

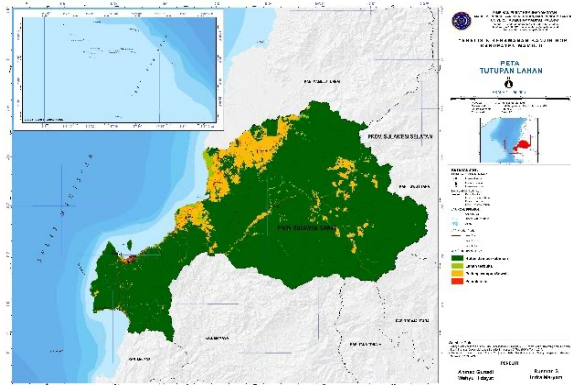
Tutupan lahan (bobot 2) memengaruhi kapasitas infiltrasi dan limpasan permukaan. Wilayah Mamuju didominasi hutan dan perkebunan (87,38%) yang berfungsi sebagai penyangga alami. Namun lahan permukiman (37,53 ha, skor 4) dan lahan terbuka (93,16 ha, skor 3) yang terkonsentrasi di pesisir mendapat perhatian khusus karena kapasitas infiltrasinya sangat rendah. Jenis tanah (bobot 1) menentukan kemampuan perkolasi. Sedimen jenis sedang mendominasi wilayah kajian (81,14%), sementara tanah halus seluas 137,69 ha (2,78%) yang umumnya berupa endapan aluvial di pesisir mendapat skor 4 (Tabel 5).

Tabel 5. Luas Kelas Jenis Tanah di Kabupaten Mamuju

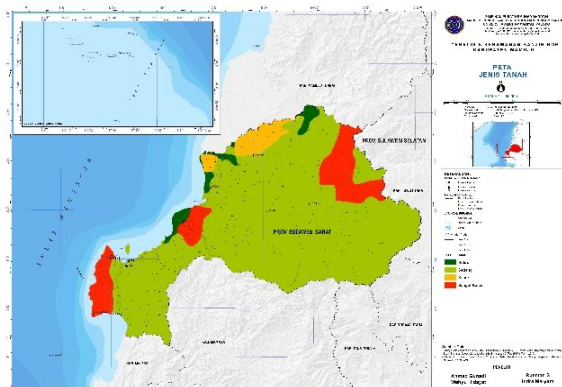
No	Kelas Jenis Tanah	S	B	Total (S×B)	Luas (ha)	%
1	Halus	4	1	4	137,69	2,78
2	Sedang	3	1	3	4.019,95	81,14
3	Kasar	2	1	2	192,00	3,88
4	Sangat Kasar	1	1	1	604,91	12,21
Jumlah					4.954,56	100

Sumber: Hasil Analisis GIS, 2026

LeRoux dkk. (2023) mengingatkan bahwa kenaikan muka air laut memperluas jangkauan intrusi air asin secara vertikal dan horizontal pada lahan bertekstur halus, mengancam ketersediaan air baku bagi masyarakat pesisir. Heiss dkk. (2022) juga menekankan bahwa peningkatan frekuensi banjir pasang surut meningkatkan pencampuran air laut dan air tawar di akuifer pesisir akibat infiltrasi yang lebih besar.



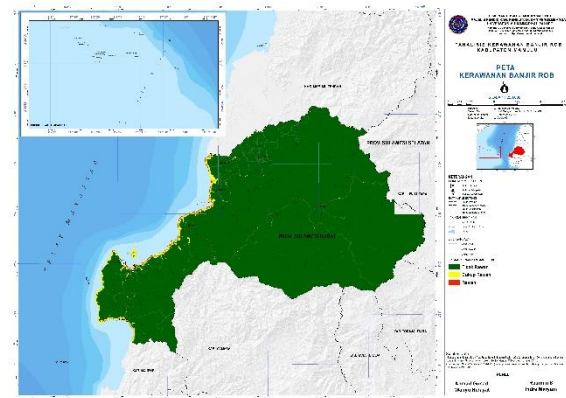
Gambar 6 Peta Tutupan Lahan



Gambar 7 Peta Jenis Tanah

3.6 Hasil Overlay dan Zonasi Kerawanan Banjir Rob

Overlay keenam parameter menghasilkan peta tingkat kerawanan banjir Rob Kabupaten Mamuju. Jarak dari pantai memberikan kontribusi skor terbesar (rentang 10–40), disusul kemiringan lereng (5–20) dan ketinggian lahan (4–16). Dominasi ketiga parameter fisik ini mengonfirmasi bahwa karakteristik topografi dan kedekatan dengan badan air merupakan faktor penentu utama kerawanan banjir Rob di Kabupaten Mamuju, sejalan dengan prinsip yang diformulasikan Wirayuda dkk. (2020). Distribusi rentang skor setiap parameter diilustrasikan pada Gambar 8 berikut, memperlihatkan kontribusi relatif masing-masing parameter terhadap nilai kerawanan total.



Gambar 8 Distribusi Luas Setiap Kelas Parameter Kerawanan Banjir Rob – Kabupaten Mamuju

Gambar 8 merangkum distribusi luas setiap kelas dari keenam parameter. Terlihat bahwa kelas paling rawan (skor 4) dari semua parameter memiliki luasan yang relatif kecil namun terkonsentrasi di zona pesisir barat yang justru merupakan area dengan kepadatan aktivitas tertinggi. Hasil *overlay* seluruh parameter menghasilkan peta zonasi akhir dengan tiga kelas kerawanan sebagaimana ditampilkan pada Tabel 6.

Tabel 6. Hasil Zonasi Kerawanan Banjir Rob Kabupaten Mamuju

Kelas Kerawanan	Rentang Nilai Total	Luas (ha)	%	Keterangan
Rawan	> 74	260,84	5,27	Kerawanan Tinggi
Cukup Rawan	48 – 74	1.007,56	20,34	Kerawanan Sedang
Tidak Rawan	< 48	3.847,16	77,65	Kerawanan Rendah
Total	–	5.115,56	100	–

Sumber: Hasil Analisis GIS, 2026

Berdasarkan Tabel 6, wilayah Rawan mencakup 260,84 ha (5,27%) dari total kajian. Zona Cukup Rawan seluas 1.007,56 ha (20,34%), dan Tidak Rawan mendominasi dengan 3.847,16 ha (77,65%). Meskipun secara proporsi wilayah rawan terlihat kecil, sebaran spasialnya yang terkonsentrasi di zona pesisir padat penduduk menjadikannya ancaman yang tidak dapat diabaikan dalam perencanaan tata ruang.

Zona Rawan (>74) seluas 260,84 ha tersebar pada tiga kluster utama: (1) kawasan pusat kota Mamuju yang berbatasan langsung dengan Selat Makassar; (2) kawasan muara Sungai Mamuju dan sungai-sungai kecil; dan (3) kawasan permukiman nelayan yang memiliki infrastruktur proteksi pantai terbatas. Zona ini memiliki kombinasi faktor berat: elevasi 0–2 m di atas permukaan laut (dpl), jarak <250 m dari pantai, kemiringan 0–5%, dan tutupan lahan permukiman. Triana dan Hidayah (2020)

mengidentifikasi bahwa banjir Rob secara langsung menghambat mata pencaharian pesisir, memicu berbagai penyakit, dan menimbulkan kerugian materi yang signifikan. Sahana (2021) memperingatkan bahwa tanpa penanganan komprehensif, wilayah ini berpotensi terdegradasi menjadi kawasan kumuh.

Analisis interaksi antar parameter mengungkap tiga kombinasi kritis penyebab utama terbentuknya zona rawan: (1) elevasi <2 m dpl + jarak <250 m dari pantai menghasilkan skor kumulatif tertinggi dan mendominasi zona rawan di kawasan pusat kota; (2) lereng $0-2\%$ + tutupan lahan permukiman menyebabkan akumulasi genangan berkepanjangan di permukiman nelayan karena kapasitas drainase alamiah sangat terbatas; dan (3) elevasi rendah + jarak <100 m dari muara sungai menciptakan risiko genangan berlapis akibat back-water effect saat pasang tinggi bertepatan dengan debit sungai tinggi. Interaksi ketiga kombinasi inilah yang secara konsisten membentuk zona rawan di bagian barat Mamuju.

Zona Cukup Rawan (48–74) seluas 1.007,56 ha merupakan zona transisi yang berada pada jarak 250–750 m dari pantai dengan ketinggian 2–4 m. Zona ini berpotensi beralih ke kategori rawan seiring kenaikan muka air laut yang diproyeksikan terus meningkat. Enríquez dkk. (2022) mengungkapkan bahwa siklus pasang surut 18,6 tahun secara periodik memperbesar tinggi muka air laut, sehingga zona ini memerlukan kewaspadaan jangka panjang dalam perencanaan.

3.7 Validasi Hasil Zonasi

Validasi terhadap 48 titik kejadian banjir Rob historis BPBD Kabupaten Mamuju (2019–2025) menghasilkan akurasi keseluruhan 82,5%. Sebanyak 38 dari 48 titik kejadian terletak di dalam zona Rawan atau Cukup Rawan yang diprediksi oleh model CMA. Sepuluh titik yang tidak terprediksi (17,5%) terkonsentrasi di kawasan yang secara geomorfologi berada di luar jangkauan *buffer* pantai, namun mengalami genangan akibat luapan sungai pada kejadian curah hujan ekstrem yang bersamaan dengan pasang surut – sebuah skenario yang tidak ditangkap oleh parameter statis dalam model ini. Hasil wawancara dengan 30 responden masyarakat pesisir mengonfirmasi pola sebaran genangan yang konsisten dengan peta zonasi yang dihasilkan.

3.8 Analisis Sensitivitas Bobot

Analisis sensitivitas OAT menunjukkan bahwa parameter jarak dari pantai merupakan parameter paling sensitif: perubahan bobot sebesar $+20\%$ (dari 10 menjadi 12) menyebabkan pergeseran luasan zona Rawan sekitar 12,3 ha dari zona Cukup Rawan ke Rawan, terutama di kawasan jarak 250–350 m dari pantai. Parameter jenis tanah merupakan yang paling tidak sensitif dengan pergeseran <2 ha untuk perubahan bobot $\pm 20\%$. Parameter ketinggian lahan dan kemiringan lereng menunjukkan sensitivitas

sedang (pergeseran 4–7 ha). Hasil ini mengonfirmasi bahwa penetapan bobot jarak dari pantai sebesar 10 perlu dijaga konsistensinya dalam penerapan model di wilayah pesisir serupa

3.9 Integrasi Kesesuaian Lahan Permukiman

Overlay peta zonasi kerawanan dengan data permukiman eksisting menghasilkan matriks kesesuaian lahan sebagaimana ditampilkan pada Tabel 7 dan Gambar 6. Sekitar 18,5 ha permukiman berada di zona rawan (kategori N2 – Tidak Sesuai Permanen), 19,1 ha di zona cukup rawan (S3 – Sesuai Marginal), dan 118,6 ha di zona tidak rawan (S1/S2 – Sesuai).

Tabel 7. Matriks Kesesuaian Lahan Permukiman terhadap Zonasi Kerawanan Banjir Rob

Kelas Kerawanan	Kategori Kesesuaian	Luas Permukiman (ha)	Arahan Penataan Ruang
Rawan (>74)	Tidak Sesuai (N2)	~18,5	Relokasi bertahap; larangan IMB baru; kawasan lindung pantai
Cukup Rawan (48–74)	Sesuai Marginal (S3)	~19,1	Mitigasi struktural wajib; pembangunan tanggul lokal; EWS
Tidak Rawan (<48)	Sesuai (S1/S2)	~118,6	Pengembangan sesuai RTRW; standar bangunan pesisir wajib

Sumber: Hasil Analisis Overlay, 2026

Gambar 6 menampilkan bahwa meskipun sebagian besar permukiman (118,6 ha atau 76,4%) berada di zona aman, terdapat 37,6 ha (23,6%) yang memerlukan perhatian serius karena berada di zona rawan dan cukup rawan. Temuan ini mengindikasikan adanya inkonsistensi antara kondisi faktual penggunaan lahan dengan prinsip perencanaan berbasis risiko. Dewi dan Chandra (2025) menegaskan bahwa penyimpangan penggunaan lahan seperti pembangunan di kawasan rawan bencana merupakan masalah serius yang perlu diprioritaskan dalam revisi RTRW. Ndun dkk. (2021) menambahkan bahwa analisis kesesuaian lahan berbasis SIG sangat penting untuk memastikan terciptanya ruang yang aman dan berkelanjutan.

Implikasi langsung terhadap RTRW Kabupaten Mamuju mencakup: (1) revisi peta pola ruang dengan menetapkan zona rawan sebagai kawasan lindung pesisir; (2) pengetatan ketentuan Izin Mendirikan Bangunan (IMB) di zona cukup rawan melalui

persyaratan teknis bangunan tahan Rob; dan (3) sinkronisasi dengan RZWP3K Provinsi Sulawesi Barat terkait penetapan sempadan pantai 100 meter bebas bangunan

3.10 Arahan Penataan Ruang Adaptif

Berdasarkan hasil zonasi dan analisis kesesuaian lahan, tiga arahan strategis direkomendasikan. Pertama, mitigasi struktural: pembangunan tanggul laut (*sea wall*) dan penahan gelombang (*breakwater*) di zona rawan; revitalisasi drainase pesisir terintegrasi dengan siklus pasang surut; dan restorasi mangrove sebagai green belt alami. Infrastruktur ini perlu dirancang dengan proyeksi kenaikan muka air laut minimal 50 tahun ke depan sesuai skenario IPCC (2021). Kedua, mitigasi non-struktural: penetapan sempadan pantai 100 m sebagai kawasan lindung bebas bangunan; pembatasan IMB di zona rawan; pengembangan sistem peringatan dini berbasis sensor muka air laut; dan program edukasi evakuasi bagi masyarakat pesisir. Hasna dan Darumurti (2023) menekankan bahwa keberhasilan mitigasi bergantung pada collaborative governance antara pemerintah, akademisi, dan lembaga swadaya masyarakat. Ketiga, arahan tata ruang berbasis risiko: zona rawan ditetapkan sebagai kawasan lindung pesisir tanpa izin pembangunan baru; zona cukup rawan diperbolehkan dengan syarat standar bangunan tahan Rob dan ruang terbuka hijau (RTH) minimal 30%; zona tidak rawan dikembangkan sesuai RTRW dengan standar bangunan pesisir. Prabawa dkk. (2023) menegaskan bahwa zonasi kerawanan harus menjadi instrumen ilmiah yang terus diperbarui sebagai landasan kebijakan mitigasi adaptif.

Integrasi peta zonasi kerawanan Rob ke dalam RTRW Kabupaten Mamuju dan RZWP3K Provinsi Sulawesi Barat menjadi langkah mendesak yang harus segera ditindaklanjuti oleh BAPPEDA dan Dinas PUPR. Hardin dkk. (2025) membuktikan bahwa analisis kesesuaian lahan sangat penting dalam perencanaan kawasan pesisir karena pemanfaatan ruang di wilayah ini sering menimbulkan konflik kepentingan yang memerlukan resolusi berbasis data spasial yang akurat.

3.11 Diskusi Komparatif

Dibandingkan dengan studi Wirayuda dkk. (2020) di Kabupaten Gianyar, Bali, yang menemukan 6,02% zona rawan dan 62,00% cukup rawan dari area kajian 1.104 ha, penelitian di Mamuju menemukan 5,27% rawan dan 20,34% cukup rawan dari area kajian 5.115 ha. Proporsi cukup rawan yang lebih rendah di Mamuju dapat dijelaskan oleh topografi yang lebih dramatis: pegunungan dan perbukitan di pedalaman Mamuju menyebabkan lebih banyak lahan terklasifikasi tidak rawan. Meskipun demikian, luas absolut zona rawan di Mamuju (260,84 ha) jauh lebih besar dibandingkan Gianyar (66,37 ha),

berimplikasi pada skala intervensi mitigasi yang lebih besar.

Perbandingan dengan studi lainnya menunjukkan pola yang konsisten. Mursid dkk. (2025) di Kota Kotamobagu, Sulawesi Utara, menemukan 8,3% zona rawan dengan metode CMA yang serupa. Melo dkk. (2025) di Kota Gorontalo melaporkan 12,7% zona rawan dengan pendekatan SIG berbasis skoring, sedangkan Rakuasa dan Latue (2023) di DAS Wae Heru, Kota Ambon, menemukan 9,1% zona rawan tinggi. Ramadhanty dkk. (2022) di Kota Tegal melaporkan zona rawan yang jauh lebih luas secara proporsi, menegaskan bahwa faktor land subsidence yang belum diperhitungkan dalam penelitian ini berpotensi memperbesar luas zona rawan Mamuju di masa mendatang. Septian dkk. (2020) menegaskan bahwa perbedaan karakteristik topografi dan distribusi spasial faktor penyebab banjir sangat menentukan pola distribusi kerawanan pada setiap wilayah kajian.

4. KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil memetakan dan memvalidasi distribusi spasial kerawanan banjir Rob Kabupaten Mamuju menggunakan metode *Complete Mapping Analysis* (CMA) berbasis SIG dengan enam parameter biofisik berbobot. Temuan utama dan maknanya adalah sebagai berikut.

Pertama, dari total area kajian 5.115,56 ha, terdapat 260,84 ha (5,27%) zona Rawan, 1.007,56 ha (20,34%) zona Cukup Rawan, dan 3.847,16 ha (77,65%) zona Tidak Rawan. Meskipun proporsi zona rawan terlihat kecil, konsentrasinya di kawasan pesisir padat penduduk dengan estimasi 2.550 jiwa terdampak menjadikannya ancaman yang tidak dapat diabaikan dalam perencanaan tata ruang.

Kedua, tiga kombinasi parameter kritis yang membentuk zona rawan adalah: elevasi <2 m dpl + jarak <250 m dari pantai; lereng 0–2% + tutupan lahan permukiman; dan elevasi rendah + kedekatan dengan muara sungai. Pemahaman interaksi antar parameter ini penting untuk mendesain infrastruktur mitigasi yang tepat sasaran.

Ketiga, validasi terhadap 48 titik kejadian historis BPBD menghasilkan akurasi 82,5%, mengonfirmasi bahwa peta zonasi CMA yang dihasilkan memiliki tingkat representativitas yang memadai sebagai basis kebijakan.

Keempat, kontribusi ilmiah penelitian ini adalah pengembangan dan validasi kerangka analisis CMA dengan komponen Oi/Ei untuk kawasan pesisir tropis berkarakter topografi heterogen di Sulawesi Barat, menyediakan basis data spasial terverifikasi sebagai masukan revisi RTRW Kabupaten Mamuju dan RZWP3K Provinsi Sulawesi Barat.

Rekomendasi utama mencakup: (1) penetapan sempadan pantai 100 m sebagai kawasan lindung dalam revisi RTRW; (2) pembangunan tanggul laut dan restorasi mangrove di zona rawan; (3) program

relokasi bertahap dan pembatasan IMB bagi permukiman di zona N2; dan (4) sinkronisasi peta zonasi ke dalam RZWP3K Sulawesi Barat. Penelitian ini memiliki beberapa keterbatasan yang perlu diakui. Pertama, resolusi DEM 8,1 m belum optimal untuk menangkap mikrotopografi pesisir yang sangat datar, sehingga klasifikasi elevasi pada zona transisi dapat mengandung ketidakpastian. Kedua, faktor penurunan muka tanah (*land subsidence*) yang menurut Miftakhudin (2021) berkontribusi lebih besar dari SLR di kawasan perkotaan pesisir belum diperhitungkan, sehingga luas zona rawan aktual berpotensi lebih besar. Ketiga, model hanya menggunakan enam parameter geomorfologi. Penelitian lanjutan direkomendasikan untuk mengintegrasikan data InSAR guna mengukur laju subsidence, pemodelan hidrodinamika pasang surut, dan model machine learning untuk prediksi real-time (Zahura & Goodall, 2022).

PUSTAKA

- Al Fauzi, R. (2022). Analisis tingkat kerawanan banjir Kota Bogor menggunakan metode overlay dan scoring berbasis sistem informasi geografis. *Geomedia: Majalah Ilmiah dan Informasi Kegeografian*, 20(2), 96–107. <https://doi.org/10.21831/gm.v20i2.48017>
- Dewi, Y., & Chandra, D. (2025). Analisis Perkembangan Dan Kesesuaian Lahan Permukiman Terhadap Rtrw Kota Padang Panjang. *Pendas: Jurnal Ilmiah Pendidikan Dasar*, 10(03), 221-239. <https://doi.org/10.23969/jp.v10i03.31403>
- Enriquez, A.R., Wahl, T., Baranes, H.E., Talke, S.A., Orton, P.M., Booth, J.F., & Haigh, I.D. (2022). *Predictable changes in extreme sea levels and coastal flood risk due to long-term tidal cycles. Journal of Geophysical Research: Oceans*, 127(4), e2021JC018157. <https://doi.org/10.1029/2021JC018157>
- Hardin, H., Yusuf, D., & Lahay, R. J. (2025). Analisis Kesesuaian Lahan Untuk Permukiman Wilayah Pesisir Kabupaten Boalemo. *Jurnal Riset dan Pengabdian Interdisipliner*, 2(2), 249-260. <https://doi.org/10.37905/jrpi.v2i2.30581>
- Harvia, R., Juita, E., & Despica, R. (2024). Analisis spasial bencana banjir di Kota Padang periode tahun 2020–2024. *JPIG: Jurnal Pendidikan dan Ilmu Geografi*, 9(2), 139–147. <https://doi.org/10.21067/jpig.v9i2.10627>
- Hasna, A.L., & Darumurti, A. (2023). Collaborative governance dalam mitigasi bencana banjir Rob di Kota Pekalongan. *JISIP UNJA*, 7(1), 25–37. <https://doi.org/10.22437/jisipunja.v7i1.24210>
- Heiss, J.W., Mase, B., & Shen, C. (2022). *Effects of future increases in tidal flooding on salinity and groundwater dynamics in coastal aquifers. Water Resources Research*, 58(12), e2022WR033195. <https://doi.org/10.1029/2022WR033195>
- Hermawan, E., Panjaitan, S. D., & Ripanti, E. F. (2024). Sistem prediksi banjir Rob Kota Pontianak berbasis machine learning menggunakan framework Streamlit. *JEPIN (Jurnal Edukasi dan Penelitian Informatika)*, 10(3), 351-361.
- Hidayah, N., & Nugroho, H. S. (2024). Pengembangan model mitigasi bencana banjir Rob di Kelurahan Kandang Panjang, Kota Pekalongan (Analisis kapasitas dan kerentanan aktor pada mitigasi bencana banjir Rob). *Moderat: Jurnal Ilmiah Ilmu Pemerintahan*, 10(2), 281-304. <https://doi.org/10.25157/moderat.v10i2.3328>
- IPCC. (2021). *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009157896>
- Ismanto, K., Pratikwo, S., Madusari, B.D., & Christianto, P.A. (2021). Analisis kebutuhan masyarakat terdampak banjir Rob: studi kasus Kota Pekalongan. *Jurnal Litbang Kota Pekalongan*, 19(1). <https://doi.org/10.54911/litbang.v20i.141>
- LeRoux, N.K., Frey, S.K., Lapen, D.R., Guimond, J.A., & Kurylyk, B.L. (2023). *Mega-tidal and surface flooding controls on coastal groundwater and saltwater intrusion within agricultural dikelands. Water Resources Research*, 59(11), e2023WR035054. <https://doi.org/10.1029/2023WR035054>
- Li, S., Wahl, T., Barroso, A., Coats, S., Dangendorf, S., Piecuch, C., & Liu, L. (2022). *Contributions of different sea-level processes to high-tide flooding along the US Coastline. Journal of Geophysical Research: Oceans*, 127(7), e2021JC018276. <https://doi.org/10.1029/2021JC018276>
- Macías-Tapia, A., Mulholland, M.R., Selden, C.R., Loftis, J.D., & Bernhardt, P.W. (2021). *Effects of tidal flooding on estuarine biogeochemistry. Water Research*, 201, 117329. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2021.117329>
- Melo, R. H., Dunggio, I., Salote, R. H., Liputo, R., & Niode, S. F. S. (2025). Analisis Spasial dan Pemetaan Zonasi Rawan Bencana Banjir di Kota Gorontalo Berbasis Sistem Informasi Geografis (SIG). *Geosfera: Jurnal Penelitian Geografi*, 4(2), 495-500. <https://doi.org/10.37905/geojpg.v4i2.36290>
- Miftakhudin, S. (2021). Strategi penanganan banjir Rob Kota Pekalongan. *Jurnal Litbang Kota*

- Pekalongan, 19(1).
<https://doi.org/10.54911/litbang.v20i.142>
- Mursid, A., Mononimbar, W., & Prijadi, R. (2025). Identifikasi karakteristik dan tingkat kerawanan banjir di Kota Kotamobagu menggunakan metode *Composite Mapping Analysis* (CMA). *Plano Madani: Jurnal Perencanaan Wilayah dan Kota*, 14(2), 200–213.
<https://doi.org/10.24252/jpm.v14i2.52121>
- Ndun, L. A. L., Samin, M., & Rahmawati, A. (2021). Analisis Kesesuaian Lahan Permukiman Di Kecamatan Kota Soe Kabupaten Timur Tengah Selatan Berbasis Sistem Informasi Geografis. *Jurnal Geografi*, 17(2), 61-75.
- Piecuch, C.G., Coats, S., Dangendorf, S., Landerer, F.W., Reager, J.T., Thompson, P.R., & Wahl, T. (2022). *High-tide floods and storm surges during atmospheric rivers on the US West Coast. Geophysical Research Letters*, 49(2), e2021GL096820.
<https://doi.org/10.1029/2021GL096820>
- Prabawa, B.A., Febriarta, E., Ardiyanto, R., & Rosaji, F.S.C. (2023). Pemetaan zonasi kerawanan bencana gerakan massa tanah di Kabupaten Puncak, Papua. *Geomedia: Majalah Ilmiah dan Informasi Kegeografian*, 21(1), 20–30.
<https://doi.org/10.21831/gm.v21i1.50170>
- Rakuasa, H., & Latue, P.C. (2023). Analisis spasial daerah rawan banjir di DAS Wae Heru, Kota Ambon. *JTSL: Jurnal Tanah dan Sumberdaya Lahan*, 10(1), 75–82.
<https://doi.org/10.21776/ub.jtsl.2023.010.1.8>
- Ramadhanty, N.R., Muryani, C., & Tjahjono, G.A. (2022). Analisis tingkat kerentanan masyarakat terhadap banjir Rob di Kecamatan Tegal Barat Kota Tegal. *Indonesian Journal of Environment and Disaster*, 1(1), 73–82.
<https://doi.org/10.20961/ijed.v1i1.62>
- Sahana, W. (2021). Penanganan Banjir Rob Di Kota Tanjungbalai. *Prosiding Universitas Dharmawangsa*, 1, 43-46.
<https://doi.org/10.46576/prosundhar.v1i0.6>
- Sahid, M. A., Mataburu, I. B., Handawati, R., & Hijrawadi, S. N. (2022). Analisis Wilayah Rawan Banjir DAS Cimanuk Menggunakan *Model Complete Mapping Analysis* dan SIG. *Jurnal Georaflesia: Artikel Ilmiah Pendidikan Geografi*, 7(1), 10-21.
<https://doi.org/10.32663/georaf.v7i1.2789>
- Septian, A., Elvarani, A.Y., Putri, A.S., Maulia, I., Damayanti, L., & Aswad, F.H. (2020). Identifikasi zona potensi banjir berbasis SIG menggunakan metode overlay dengan scoring di Kabupaten Agam. *Jurnal Geosains dan Remote Sensing*, 1(1), 11–22.
<https://doi.org/10.23960/jgrs.2020.v1i1.25>
- Triana, Y.T., & Hidayah, Z. (2020). Kajian potensi daerah rawan banjir Rob dan adaptasi masyarakat di wilayah pesisir utara Surabaya. *Juvenil: Jurnal Ilmiah Kelautan dan Perikanan*, 1(1), 141–150.
<https://doi.org/10.21107/juvenil.v1i1.6961>
- Wirayuda, I. A., Nuarsa, I. W., & Putra, I. N. (2020). Pemetaan Potensi Kerawanan Banjir Rob di Kabupaten Gianyar. *Journal of Marine Research and Technology*, 3(2), 94-101.
- Yonehara, S., & Kawasaki, A. (2020). Assessment of the tidal effect on flood inundation in a low-lying river basin under composite future scenarios. *Journal of Flood Risk Management*, 13(3), e12606. <https://doi.org/10.1111/jfr3.12606>
- Zahura, F.T., & Goodall, J.L. (2022). Predicting combined tidal and pluvial flood inundation using a machine learning surrogate model. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 41, 101087.
<https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2022.101087>