



JURNAL SEGARA

<http://ejournal-balitbang.kkp.go.id/index.php/segara>

ISSN : 1907-0659
e-ISSN : 2461-1166
DOI : 10.15578/segara.v20i1.16720

ANALISIS KONDISI MUKA LAUT PADA KEJADIAN BANJIR ROB MENGGUNAKAN MODEL HIDRODINAMIKA DI WILAYAH KOTA MAKASSAR (STUDI KASUS TANGGAL 24 DESEMBER 2022)

ANALYSIS OF SEA SURFACE CONDITIONS DURING ROB FLOOD EVENTS USING HYDRODYNAMIC MODELS IN MAKASSAR CITY (CASE STUDY: DECEMBER 24, 2022)

Muhammad Ahsani Taqvim¹, Asbar^{1*}, Andi Asni², Mahagnyana^{1,3}

¹) Program Studi Magister Manajemen Pesisir dan Teknologi Kelautan, Universitas Muslim Indonesia – Makassar

²) Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Muslim Indonesia – Makassar

³) BMKG – Stasiun Meteorologi Maritim Paotere – Makassar

Received: 16 Juni 2025 / Accepted: 17 Juli 2025 / Published: 12 Agustus 2025

ABSTRAK

Banjir ROB yang terjadi di Pulau Barrang Lompo, Kecamatan Sangkarrang, Kota Makassar pada 24 Desember 2022 dianalisis dengan memanfaatkan model *Ocean Forecast System* (OFS) BMKG, *Tide Model Driver* (TMD), serta data observasi satelit GSMP. Tinggi Total Muka Laut (TTML) dijadikan indikator utama ketinggian banjir. Validasi model dilakukan menggunakan metode Korelasi Pearson, *Root Mean Square Error* (RMSE), *Mean Bias Error* (MBE), *Mean Absolute Bias Error* (MABE), dan *Level of Confidence* (LOC), dengan data observasi gelombang laut dari satelit altimetri dan data pasang surut dari Badan Informasi Geospasial (BIG). Hasil validasi mengonfirmasi bahwa model OFS-BMKG dan TMD memiliki reliabilitas tinggi dalam menganalisis kejadian banjir tersebut. Penelitian ini mengidentifikasi bahwa banjir ROB dipicu oleh kombinasi pasang laut harian tertinggi, gelombang sedang (1,25–2,5 meter), kecepatan angin tinggi (>20 knot), serta curah hujan ekstrem. TTML maksimum yang tercatat mencapai 2,69 meter, dengan pola temporal yang konsisten meningkat pada sore hingga malam hari. Ambang batas yang direkomendasikan untuk peringatan dini banjir ROB di Perairan Spermonde Makassar, khususnya Pulau Barrang Lompo, adalah TTML $\geq 2,3$ meter disertai curah hujan ≥ 150 mm per hari. Temuan ini menyediakan dasar ilmiah dalam pengembangan sistem peringatan dini banjir ROB berbasis kondisi lokal yang lebih akurat di wilayah Kota Makassar.

Kata Kunci: Banjir ROB, Gelombang Laut, Pasang Surut, Tinggi Total Muka Laut, Hujan Ekstrem.

ABSTRACT

The coastal flooding (ROB) event that occurred on Barrang Lompo Island, Sangkarrang District, Makassar City on December 24, 2022, was analyzed using the BMKG *Ocean Forecast System* (OFS) model, *Tide Model Driver* (TMD), and GSMP satellite observational data. Total Tide Level (TTML) was used as the primary indicator of flood height. Model validation was carried out using Pearson Correlation, Root Mean Square Error (RMSE), Mean Bias Error (MBE), Mean Absolute Bias Error (MABE), and Level of Confidence (LOC), with wave observation data derived from satellite altimetry and tidal data from the Geospatial Information Agency (BIG). The validation results confirmed that both OFS-BMKG and TMD models demonstrate high reliability in analyzing the flood event. The study identified that the ROB flooding was triggered by the combination of the highest daily tides, moderate wave height (1.25–2.5 meters), strong wind speeds (>20 knots), and extreme rainfall. The maximum recorded TTML reached 2.69 meters, with a consistent temporal pattern of increase during the afternoon to evening. The recommended threshold for early warning of ROB floods in the Spermonde Waters of Makassar, particularly on Barrang Lompo Island, is TTML ≥ 2.3 meters accompanied by rainfall ≥ 150 mm per day. These findings provide a scientific foundation for the development of a more accurate, locally-based ROB flood early warning system in Makassar City.

Keywords: ROB Flood, Ocean Waves, Tidal Elevation, Total Tide Level, Extreme Rainfall.

Corresponding author: Jl. Urip Sumoharjo, No. 255, Makassar, Sulawesi Selatan, e-mail: asbar.asbar@umi.ac.id

PENDAHULUAN

Indonesia sebagai negara kepulauan dengan 17.480 pulau dan garis pantai sepanjang 95.181 km memiliki wilayah pesisir yang menjadi sumber utama pendapatan masyarakat (BPS RI, 2020). Sebanyak 12.852 desa atau 15,32% dari total desa nasional berada di pesisir, dengan sekitar 60% penduduk Indonesia tinggal di kawasan ini. Kepadatan penduduk pesisir meningkatkan tekanan terhadap sumber daya alam setempat, yang berkontribusi pada degradasi lingkungan seperti abrasi, akresi pantai, dan limbah laut (Fauzi et al., 2021). Kondisi tersebut memperlihatkan kerentanan ekosistem pesisir sebagai pertemuan antara daratan dan laut yang seimbang namun rapuh (Danial et al., 2021).

Sebagai negara maritim dengan banyak pulau, Indonesia rentan terhadap berbagai bencana pesisir, termasuk banjir ROB, yaitu genangan air laut atau payau yang terjadi di daerah rendah seperti estuari dan delta (Marfai, 2004). Faktor penyebab banjir ROB meliputi pasang surut astronomis, kondisi meteorologis seperti *storm surge*, gelombang laut, hujan lebat, perubahan iklim dan kenaikan muka air laut, serta penurunan muka tanah. Di antara faktor tersebut, *storm surge* merupakan penyebab paling dominan (Gayathri et al., 2017).

Peristiwa banjir ROB yang terjadi di Pulau Barrang Lombo, Kota Makassar pada 24 Desember 2022 ((Antaraneews.com, 2022; medcom.id, 2022; Republika, 2022) merupakan hasil interaksi beberapa faktor pendukung utama. Peringatan dini yang dikeluarkan BMKG untuk wilayah pesisir barat Sulawesi Selatan pada 23-25 Desember 2022 didasari oleh tiga faktor utama. Pertama, faktor astronomis mengacu pada fenomena perigee atau supermoon, dimana posisi bulan berada pada jarak terdekat dengan bumi sekitar 356.877 km, yang memperkuat gaya pasang surut, terutama ketika bulan dan matahari sejajar di ekuator. Kedua, faktor oseanografis meliputi prediksi gelombang dengan intensitas sedang di perairan pesisir barat Sulawesi Selatan. Klasifikasi tinggi gelombang menurut Efendi dkk. (2023) berkisar dari gelombang tenang hingga ekstrem dengan rentang 0,1 hingga 9,0 meter. Ketiga, faktor hidrometeorologis berupa prakiraan curah hujan sedang hingga lebat di wilayah Kota Makassar dan sekitarnya, dengan kategori curah hujan harian yang diklasifikasikan mulai dari hujan ringan hingga sangat lebat sesuai Wahyudi dkk. (2021).

Simulasi tinggi muka laut pada kejadian banjir ROB di Pulau Barrang Lombo dapat dilakukan dengan memanfaatkan data pendukung yang tersedia serta memperhatikan aspek regulasi terkait banjir ROB dan modul operasional model BMKG *Ocean Forecast System* (OFS) dan *Tide Model Driver* (TMD). Validasi

model OFS-BMKG dan TMD menggunakan data observasi menjadi langkah awal untuk memastikan kemampuan model dalam mensimulasikan kejadian banjir ROB secara akurat. Selanjutnya, analisis kombinasi hasil simulasi kedua model dan data observasi memungkinkan identifikasi faktor utama penyebab banjir ROB. Hasil analisis faktor utama tersebut digunakan untuk menetapkan nilai ambang batas kejadian, yang berpotensi menjadi acuan dalam pengembangan sistem peringatan dini banjir ROB di wilayah Kota Makassar di masa mendatang.

Peringatan dini dari Stasiun Meteorologi Paotere Makassar mengindikasikan potensi banjir ROB di pesisir barat Sulawesi Selatan pada 23-27 Desember 2022, disebabkan oleh pasang maksimum air laut dan gelombang tinggi yang dipicu oleh pusat tekanan rendah di utara Australia. Banjir tersebut terjadi pada 24 Desember 2022 dan melanda pulau-pulau dalam gugusan Kepulauan Spermonde, seperti Pulau Kodingareng, Lae-lae, Barrang Ca'di, Barrang Lombo, dan Langkai.

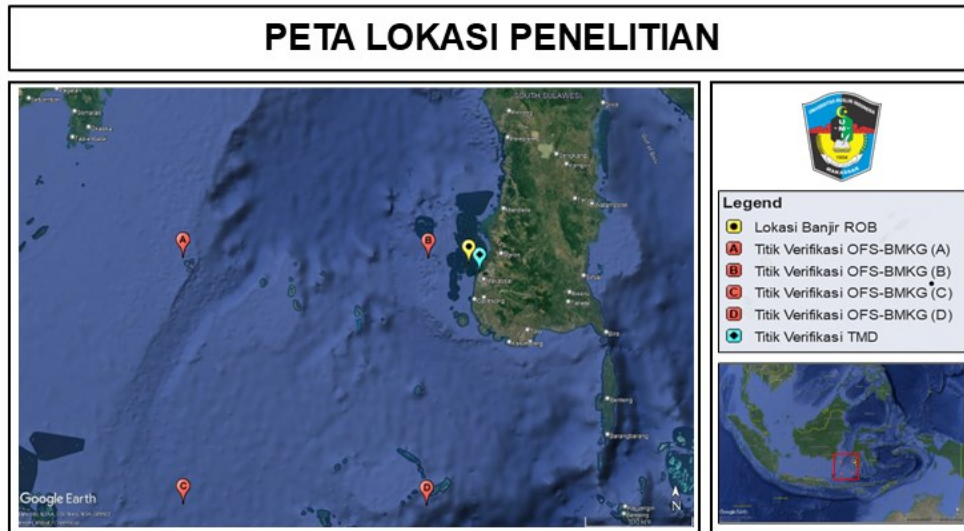
Penelitian banjir ROB telah banyak dilakukan dengan menggunakan model hidrodinamika yang berbasis prinsip kontinuitas, mampu mensimulasikan aliran internal dan dampaknya terhadap fluida (Ribeiro dkk., 2014). Model seperti *Ocean Forecast System* (OFS) dari BMKG dan *Tide Model Driver* (TMD) sudah digunakan (Kuntinah et al., 2021; Sanjaka et al., 2013) dan diverifikasi dengan hasil yang menunjukkan kecocokan tinggi terhadap data observasi, khususnya model TMD (Supriyadi, 2019; Wahyudi et al., 2021).

Penelitian ini bertujuan mensimulasikan total tinggi muka laut selama kejadian banjir ROB di Pulau Barrang Lombo, Kecamatan Sangkarrang, Kota Makassar pada 23-27 Desember 2022. Hasil penelitian diharapkan menjadi acuan bagi manajemen risiko banjir ROB di wilayah tersebut serta mendukung pengembangan strategi mitigasi yang efektif.

METODOLOGI

Waktu Dan Lokasi Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode deskriptif dengan pendekatan kuantitatif. Lokasi penelitian terletak di Selat Makassar, dengan koordinat antara 4°27'23.98" hingga 5°43'43.13" LS dan 117°12'23.79" hingga 119°33'9.38" BT. Fokus penelitian di wilayah ini bertujuan untuk menganalisis proses pembentukan dan penyebaran gelombang laut yang dipengaruhi oleh angin hingga mencapai area kejadian banjir. Lokasi penelitian dan detailnya dapat dilihat pada Gambar 1 dan Tabel 1



Gambar 1. Lokasi penelitian

Tabel 1. Koordinat titik penelitian

No	Nama Lokasi	Lintang	Bujur	Keterangan
1	Pulau Barrang Lompo	-5.0478	119.3301	Lokasi kejadian banjir ROB
2	Titik A	-5.0000	117.0000	Titik verifikasi ketinggian gelombang signifikan (H_s)
3	Titik B	-5.0000	119.0000	Titik verifikasi ketinggian gelombang signifikan (H_s)
4	Titik C	-7.0000	117.0000	Titik verifikasi ketinggian gelombang signifikan (H_s)
5	Titik D	-7.0000	119.0000	Titik verifikasi ketinggian gelombang signifikan (H_s)
6	Stasiun Pengamatan Pasut BIG	-5.1117	119.4179	Titik verifikasi pasang surut

Metode dan Prosedur Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan melalui empat tahap utama yang disusun secara sistematis. Tahap pertama merupakan proses uji model, bertujuan untuk mengevaluasi kelayakan model dalam mensimulasikan parameter oseanografi dan pasang surut. Tahap kedua dan ketiga terdiri dari simulasi kejadian banjir ROB serta analisis terhadap faktor-faktor penyebabnya. Tahap keempat difokuskan pada penentuan nilai ambang batas minimum terjadinya banjir ROB berdasarkan faktor-faktor yang telah dianalisis.

Tahap persiapan model (*pre-processing*) hanya diterapkan pada *Tide Model Driver* (TMD) melalui aplikasi Matlab, sedangkan model *Ocean Forecast System* (OFS) BMKG tidak memerlukan tahap ini karena keluaran model sudah tersedia dari BMKG. Selanjutnya, TMD digunakan untuk mensimulasikan data pasang surut (AT), sementara data angin dan gelombang dari

OFS-BMKG diunduh menggunakan aplikasi Jupyter dan seluruh data dikonversi ke format .csv pada tahap *post-processing*.

Tahap kedua adalah validasi dan analisis error untuk mengevaluasi akurasi data model terhadap data observasi. Evaluasi dilakukan menggunakan beberapa metode statistik, yaitu Korelasi Pearson, *Root Mean Square Error* (RMSE), *Mean Bias Error* (MBE), *Mean Absolute Bias Error* (MABE), dan *Level of Confidence* (LOC). Validasi model dilakukan dengan membandingkan data keluaran model terhadap data observasi; data gelombang OFS-BMKG divalidasi menggunakan data pengamatan satelit altimetri, dan data pasang surut TMD divalidasi dengan data pengamatan dari Badan Informasi Geospasial (BIG). Model dinyatakan valid apabila hasil validasi memenuhi kriteria yang ditetapkan, sehingga layak digunakan untuk simulasi kejadian banjir ROB pada 23-27 Desember

2022; apabila tidak, proses kembali ke tahap *pre-processing*.

Korelasi Pearson digunakan untuk mengukur kekuatan hubungan linear antara data model dan data observasi, dengan koefisien korelasi yang semakin mendekati 1 menunjukkan hubungan yang semakin kuat. Interpretasi nilai korelasi mengacu pada klasifikasi dari Rumsey (2007), yang membagi tingkat hubungan menjadi lima kategori: tidak ada hubungan (0–0,09), lemah (0,10–0,39), sedang (0,40–0,59), kuat (0,60–0,89), dan sempurna (0,90–1). Nilai dari koefisien korelasi dirumuskan sebagai persamaan 1 dan 2 berikut:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n x_i y_i}{\sqrt{\sum_{i=1}^n x_i^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n y_i^2}} \quad \dots(1)$$

$$r = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n y_i}{\sqrt{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2} \sqrt{n \sum_{i=1}^n y_i^2 - (\sum_{i=1}^n y_i)^2}} \quad \dots(2)$$

RMSE digunakan untuk mengukur rata-rata kuadrat penyimpangan antara data model dan data observasi, dan semakin kecil nilai RMSE, maka performa model dinilai semakin baik (Jin et al., 2005). Selain itu, MBE menghitung rata-rata selisih antara data model dan data observasi, di mana nilai positif menunjukkan kecenderungan model untuk melebihi (*overestimate*) dan nilai negatif menunjukkan kecenderungan meremehkan (*underestimate*). Nilai absolut dari MBE, yaitu MABE, memberikan informasi mengenai besar kesalahan bias tanpa memperhatikan arah selisih. Idealnya, nilai RMSE, MBE, dan MABE mendekati nol agar menunjukkan performa model yang optimal. Nilai RMSE, MBE, dan MABE dirumuskan sebagai persamaan 3, 4, dan 5 berikut:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum (y_m - y_o)^2}{n}} \quad \dots(3)$$

$$MBE = \frac{\sum y_o - y_m}{n} \quad \dots(4)$$

$$MABE = ABS \left[\frac{\sum (y_m - y_o)}{n} \right] \quad \dots(5)$$

Selanjutnya, LOC (*Level of Confidence*) digunakan untuk menilai tingkat kepercayaan terhadap model dengan mempertimbangkan nilai korelasi dan RMSE secara bersamaan. Nilai LOC yang lebih rendah menunjukkan performa model yang lebih baik, dengan klasifikasi interpretatif menurut Khotimah (2012) sebagai berikut: tinggi (0–0,299), sedang (0,30–0,599), rendah (0,60–0,899), dan sangat rendah (>0,9). Nilai LOC dirumuskan sebagai persamaan 6 berikut:

$$LOC = \frac{1}{2} (RMSE + (1 - korelasi)) \quad \dots(6)$$

Tahap ketiga yaitu data keluaran model yang telah tervalidasi digunakan untuk mensimulasikan kejadian banjir ROB di lokasi penelitian dengan melakukan analisis gelombang laut (Hs) dan pasang surut (AT) untuk menentukan tinggi total muka laut (TTML). Nilai TTML dirumuskan Cabrita dkk. (2024) sebagai persamaan 7 berikut:

$$TTML(t) = Z0(t) + T(t) + R(t) \quad \dots(7)$$

dimana $Z0(t)$ adalah *Mean Sea Level* (MSL), $T(t)$ adalah komponen pasang surut, dan $R(t)$ adalah faktor residual non-pasang surut, termasuk gelombang yang diakibatkan oleh gelombang badai. Pada penelitian ini, datum pada variabel MSL yang digunakan adalah 0,857, sesuai rujukan dari Pushidrosal (2020). Nilai $T(t)$ adalah ketinggian pasang surut astronomis hasil luaran TMD. Nilai $R(t)$ merupakan nilai ketinggian gelombang hasil luaran OFS-BMKG.

Tahap terakhir melakukan analisis faktor meteorologis menggunakan data curah hujan (RR) dari GSMaP dan data angin (WS) dari keluaran model OFS-BMKG. Dari hasil analisis ketiga faktor pendukung tersebut, faktor utama penyebab kejadian banjir ROB akan diidentifikasi. Akhirnya, nilai ambang batas minimum dari setiap faktor penyebab ditentukan sebagai acuan dalam mitigasi dan peringatan dini kejadian banjir ROB.

Data Penelitian

Data yang digunakan dalam penelitian ini terbagi menjadi data validasi, data kejadian, dan data lingkungan.

Data validasi yaitu data yang berfungsi untuk mengevaluasi performa model OFS-BMKG dan TMD selama periode 1-31 Desember 2021, meliputi:

- 1) data angin 10 meter dan gelombang laut signifikan (Hs) dengan resolusi spasial 7 km dan temporal tiga jam dari BMKG,
- 2) data pasang surut dari Stasiun Pengamatan Pasang Surut BIG Kota Makassar (<http://ina-sealevelmonitoring.big.go.id/ipasoet/>), serta
- 3) data gelombang laut dari pengamatan gabungan satelit Jason-3, Sentinel-3A, Sentinel-3B, SARAL/AltiKa, Cryosat-2, CFOSAT, dan HaiYang-2B dengan resolusi 2x2 derajat (<https://data.marine.copernicus.eu/product/>).

Data kejadian yaitu data yang digunakan untuk analisis faktor utama banjir ROB pada rentang 23-27 Desember 2022, terdiri atas:

- 1) data angin dan gelombang dari OFS-BMKG dengan rentang spasial dan temporal yang sama seperti data validasi, serta
- 2) data curah hujan spasial provinsi Sulawesi Selatan dari *Global Satellite Mapping Precipitation* (GSMaP) dengan resolusi tiga jam, yang diperoleh dari *Japan Aerospace Exploration Agency* (hokusai.eorc.jaxa.jp).

Data lingkungan adalah data yang berfungsi sebagai input awal pada model TMD dan mencakup komponen pasang surut yang diambil dari TPXO 7.2 *Global Tides Model*. Data ini bersifat spasial dan tidak terikat waktu. Dengan penggunaan ketiga jenis data tersebut, penelitian mampu mengintegrasikan evaluasi model, simulasi kejadian, dan analisis faktor lingkungan secara komprehensif.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Uji Performa Model

Performa model *Ocean Forecast System* (OFS) BMKG dan *Tide Model Driver* (TMD) diuji melalui perbandingan data keluaran model dengan data observasi di lokasi penelitian. Titik verifikasi model dipilih berdasarkan ketersediaan data observasi. Evaluasi kinerja model menggunakan analisis korelasi dan error untuk variabel tinggi gelombang laut (H_s), kecepatan angin (WS), dan ketinggian pasang surut air laut (AT).

a) Uji performa model OFS BMKG

Pada model OFS-BMKG (Tabel 2), korelasi antara data model dan observasi pada empat titik verifikasi berkisar antara 0,76724 hingga 0,84858 dengan rata-rata

0,81970, yang menunjukkan hubungan kuat. Nilai *Root Mean Square Error* (RMSE) berada dalam rentang 0,23678 sampai 0,32550 meter dengan rata-rata 0,29424 meter. *Mean Absolute Bias Error* (MABE) dan *Mean Bias Error* (MBE) menunjukkan nilai bias antara 0,13342 hingga 0,27390 meter dengan rata-rata 0,23727, di mana bias positif konsisten mengindikasikan kecenderungan model melakukan overestimasi. *Level of Confidence* (LOC) berada dalam rentang 0,19410 hingga 0,26673 dengan rata-rata 0,23727, mengindikasikan tingkat keyakinan tinggi pada performa model di seluruh titik verifikasi.

b) Uji performa model TMD

Model TMD dinilai berdasarkan data observasi dari stasiun Badan Informasi Geospasial (BIG) Makassar (Tabel 3), dengan hasil koefisien korelasi yang mencapai 0,98085, masuk dalam kategori sangat kuat. Nilai RMSE yang diperoleh adalah 0,07076 meter, sementara MABE dan MBE masing-masing tercatat 0,00605 meter. Bias positif pada MBE menunjukkan kecenderungan estimasi model sedikit lebih tinggi dari data observasi. *Level of Confidence* (LOC) yang mencapai 0,04495 mengonfirmasi reliabilitas tinggi hasil simulasi model TMD secara keseluruhan.

Hasil uji performa ini mengindikasikan kedua model memiliki kemampuan yang baik dalam merepresentasikan variabel lingkungan di lokasi penelitian, dengan model TMD menunjukkan kecocokan yang lebih tinggi dengan data observasi dibandingkan OFS-BMKG.

Tabel 2. Performa model OFS-BMKG pada 4 titik verifikasi

Titik	Korelasi	RMSE (m)	MABE (m)	MBE (m)	LOC
A	0,82803	0,31399	0,18995	0,18995	0,24298
B	0,83495	0,32550	0,27390	0,27390	0,24527
C	0,84858	0,23678	0,13342	0,13342	0,19410
D	0,76724	0,30071	0,22439	0,22439	0,26673
Rata-rata	0,81970	0,29424	0,20541	0,20541	0,23727

Tabel 3. Performa model TMD pada titik verifikasi

Titik	Korelasi	RMSE (m)	MABE (m)	MBE (m)	LOC
Stasiun BIG Kota Makassar	0.98085	0.07076	0.00605	0.00605	0.04495

Simulasi Kejadian Banjir ROB

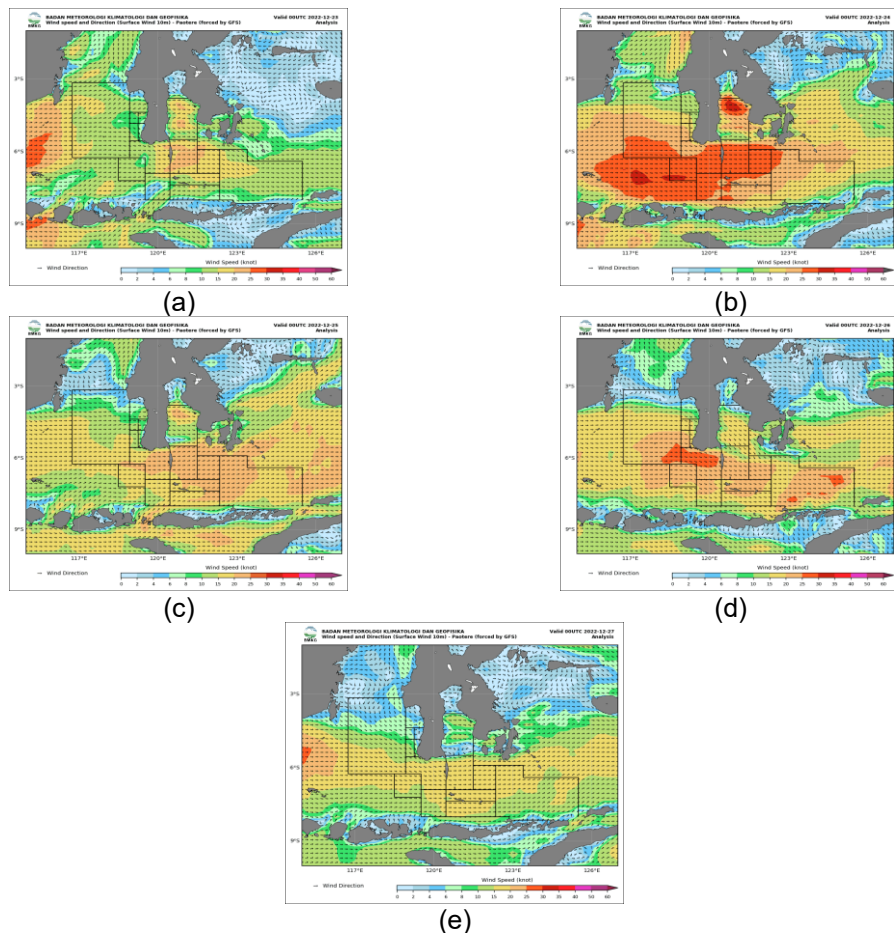
Analisis simulasi kejadian banjir ROB meliputi evaluasi kecepatan angin (WS), tinggi gelombang laut (Hs), pasang surut air laut (AT), dan curah hujan (RR). Seluruh variabel tersebut digunakan untuk menghitung tinggi total muka laut (TTML) yang menjadi acuan ketinggian banjir serta penentuan faktor utama penyebab banjir ROB di lokasi penelitian.

a) Analisis pola arah dan kecepatan angin (WS)

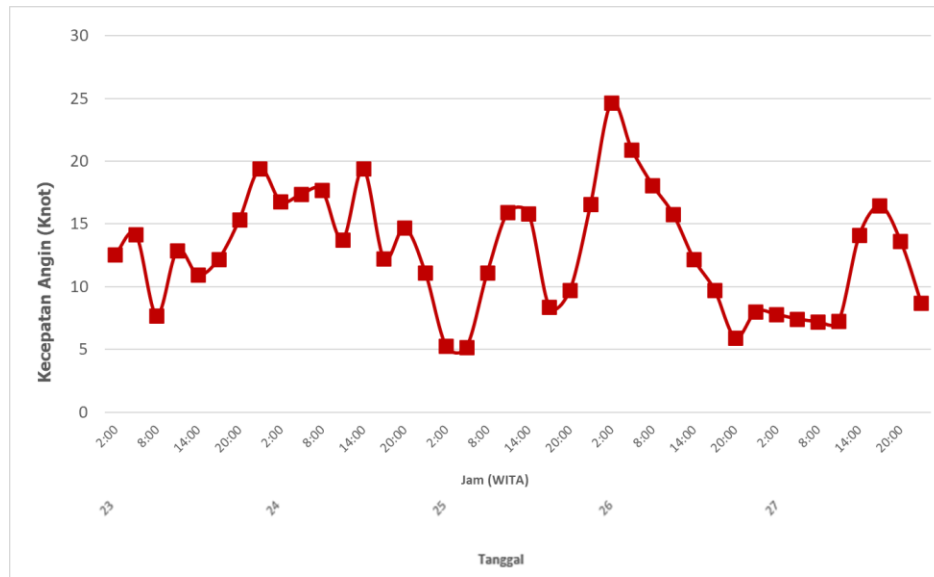
Peta arah dan kecepatan angin pada periode 23-27 Desember 2022 (Gambar 2) menunjukkan bahwa secara umum angin di perairan barat Sulawesi Selatan, termasuk Selat Makassar bagian selatan, perairan Parepare, dan gugusan Kepulauan Spermonde, bertiup dari barat daya hingga barat laut dengan kecepatan bervariasi antara 6 hingga 35 knot. Pada tanggal 23 Desember, kecepatan angin di atas 25 knot meluas dari Laut Jawa menuju Laut Flores pada 24 Desember. Kecepatan angin menurun pada 25 Desember lalu meningkat kembali pada 26 Desember di wilayah Selat

Makassar bagian selatan hingga Kepulauan Selayar, sebelum menurun kembali pada 27 Desember.

Analisis temporal kecepatan angin di Pulau Barrang Lompo selama 23-27 Desember (Gambar 3) memperlihatkan fluktuasi antara 5 hingga 25 knot dengan pola diurnal yang menampilkan satu hingga dua puncak kecepatan angin per hari. Puncak tertinggi tercatat pada 26 Desember pukul 02.00 WITA dengan kecepatan 25 knot, sedangkan kecepatan terendah terjadi pada 25 Desember pukul 02.00-05.00 WITA sebesar 5 knot. Detail harian menunjukkan variasi signifikan, misalnya pada 23 Desember kecepatan angin meningkat dari 8 knot pagi hari hingga 19 knot saat malam. Pada 24 Desember, kecepatan angin cenderung lebih tinggi dengan puncak 19 knot pada sore hari. 25 Desember mengalami fluktuasi dengan penurunan intensitas di sore hari diikuti peningkatan di malam hari. 26 Desember menjadi hari dengan kecepatan angin tertinggi, sedangkan 27 Desember menunjukkan kecepatan angin yang lebih rendah dan stabil dengan rentang 7-16 knot.



Gambar 2. Peta arah dan kecepatan angin hasil luaran model OFS-BMKG pada pukul 00.00 UTC; (a) 23 Desember 2022, (b) 24 Desember 2022, (c) 25 Desember 2022, (d) 26 Desember 2022, (e) 27 Desember 2022



Gambar 3. Grafik kecepatan angin hasil luaran model OFS-BMKG di Pulau Barrang Lompo, Kec. Sangkarrang pada tanggal 23-27 Desember 2022

b) Analisis pola ketinggian gelombang laut (Hs)

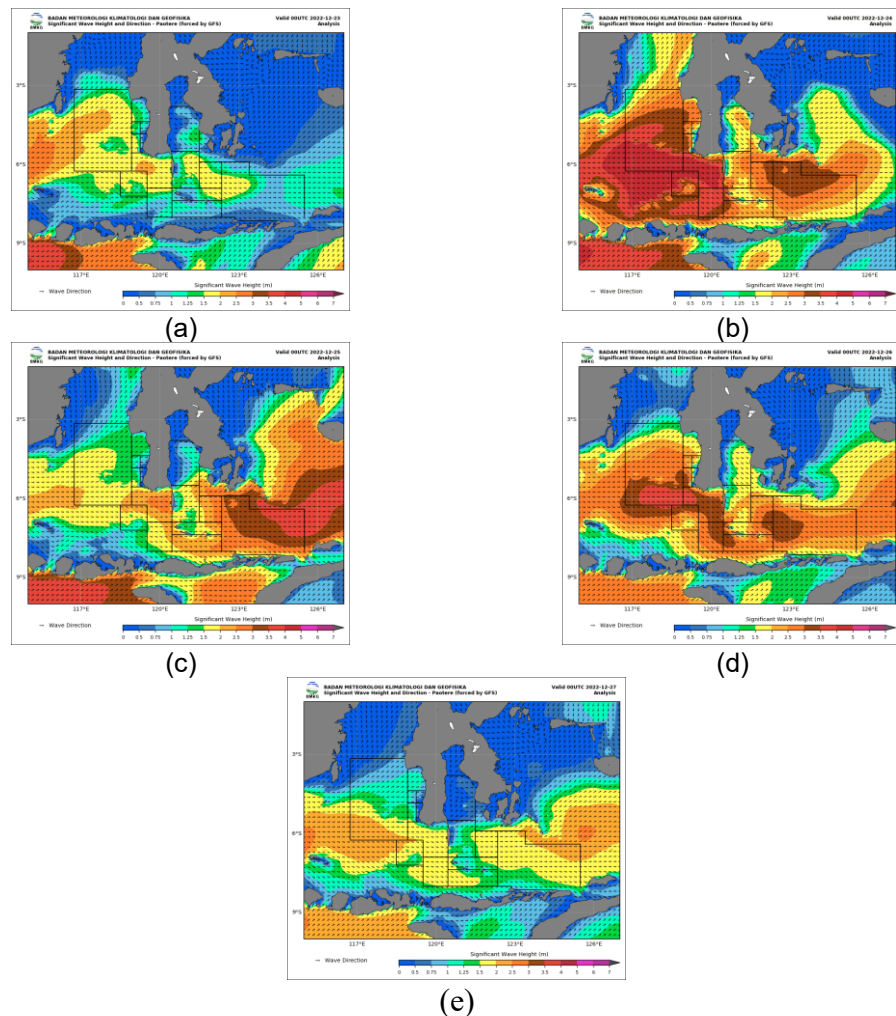
Peta ketinggian gelombang signifikan (H_s) pada periode 23–27 Desember 2022 (Gambar 4) menunjukkan bahwa gelombang di perairan barat Sulawesi Selatan, mencakup Selat Makassar bagian selatan, perairan Pare-pare, dan gugusan Kepulauan Spermonde, berada pada kategori sedang hingga tinggi dengan rentang 1,25 hingga 4 meter. Gelombang tertinggi tercatat pada 24 Desember 2022 dengan ketinggian mencapai 4 meter, sementara gelombang dengan kategori sedang meluas di wilayah pesisir barat Sulawesi Selatan selama 24 hingga 26 Desember.

Analisis ketinggian gelombang di Pulau Barrang Lompo (Gambar 5) memperlihatkan fluktuasi antara 0,54 hingga 1,31 meter selama 23–27 Desember 2022. Puncak gelombang tertinggi terjadi pada 26 Desember pukul 08.00 WITA dan terendah pada 27 Desember pukul 11.00 WITA. Secara umum, gelombang menunjukkan pola fluktuatif dengan nilai tertinggi pada dini hingga pagi hari tanggal 24 dan 26 Desember, yang berada pada kategori sedang (1,25–2,5 meter).

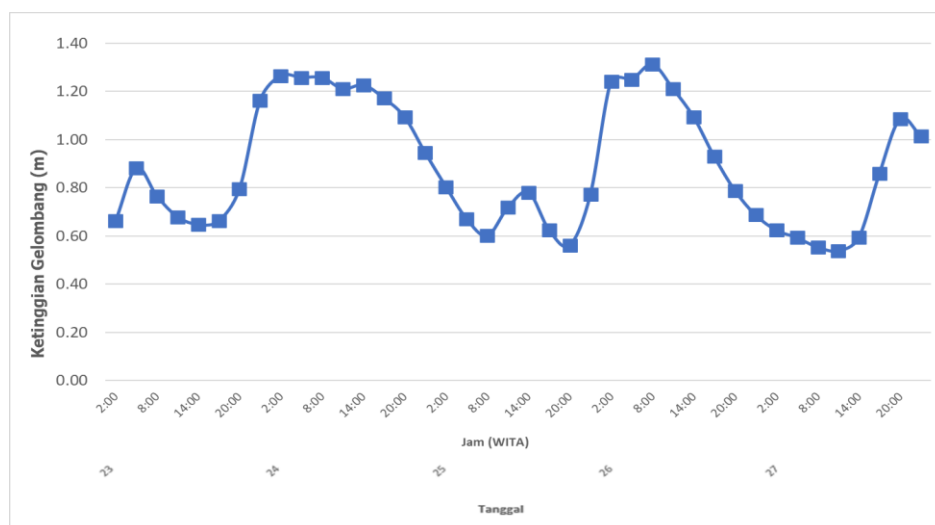
Pada 23 Desember, ketinggian gelombang bervariasi antara 0,66 hingga 1,16 meter, termasuk dalam kategori

rendah. Gelombang mengalami kenaikan dari 0,66 meter pada dini hari menjadi 0,88 meter pukul 05.00 WITA, kemudian berfluktuasi sepanjang hari dan mencapai puncaknya pada malam hari. Tanggal 24 Desember mencatat gelombang antara 0,95 dan 1,27 meter dengan puncak gelombang sedang pada dini hari, yang kemudian menurun secara bertahap hingga malam hari.

Tanggal 25 Desember memperlihatkan gelombang relatif stabil dengan rentang 0,56 hingga 0,80 meter, dimana fluktuasi tertinggi hanya 0,24 meter, menandakan kestabilan gelombang lebih tinggi dibandingkan hari lain. Puncak ketinggian gelombang tercatat pada 26 Desember antara 0,69 sampai 1,31 meter, naik secara signifikan di dini hari dan mencapai maksimum pukul 08.00 WITA, lalu menurun secara bertahap sepanjang hari. Pada 27 Desember, ketinggian gelombang bervariasi antara 0,54 hingga 1,02 meter, dengan tren penurunan hingga pukul 11.00 WITA diikuti oleh kenaikan ringan di sore hingga malam hari, namun tetap dalam kategori rendah. Hasil ini menggambarkan dinamika tinggi gelombang yang berperan penting dalam pembentukan dan sebaran gelombang laut selama periode kejadian banjir ROB.



Gambar 4. Peta ketinggian gelombang signifikan hasil luaran model OFS-BMKG pada pukul 00.00 UTC; (a) 23 Desember 2022, (b) 24 Desember 2022, (c) 25 Desember 2022, (d) 26 Desember 2022, (e) 27 Desember 2022

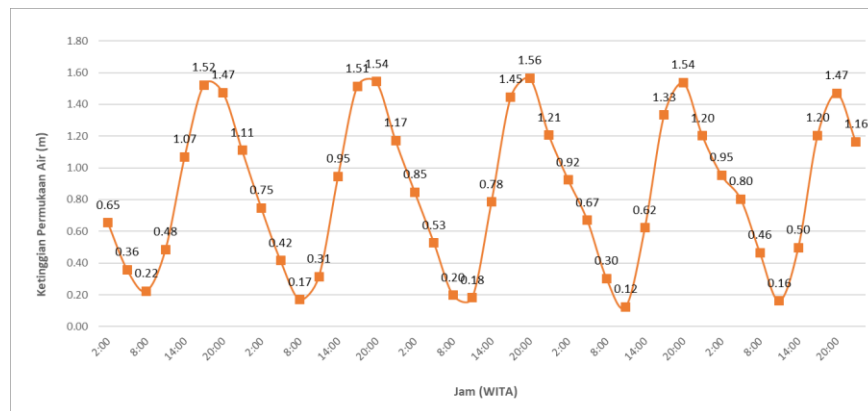


Gambar 5. Grafik ketinggian gelombang signifikan hasil luaran model OFS-BMKG di Pulau Barrang Lompo, Kec. Sangkarrang pada tanggal 23-27 Desember 2022

c) Analisis pola ketinggian pasang surut (AT)

Grafik ketinggian permukaan air laut di Pulau Barrang Lompo selama 23–27 Desember 2022 (Gambar 6) menunjukkan variasi antara 0,12 hingga 1,56 meter, dengan puncak pasang tertinggi terjadi pada 25 Desember pukul 20.00 WITA dan titik surut terendah pada 26 Desember pukul 11.00 WITA. Fluktuasi permukaan air selama periode tersebut mengindikasikan tipe pasang surut campuran dengan kecenderungan harian tunggal, yang ditandai oleh satu pasang pasang tertinggi dan satu pasang surut terendah setiap hari dengan magnitudo yang berbeda.

Pada tanggal 23 Desember, ketinggian permukaan air bervariasi antara 0,22 hingga 1,52 meter, dan pada 24 Desember rentangnya adalah 0,17 hingga 1,54 meter. Rentang ketinggian pada 25 Desember meningkat menjadi 0,18 hingga 1,56 meter, kemudian sedikit menurun menjadi 0,12 hingga 1,54 meter pada 26 Desember, dan berakhir dengan rentang 0,16 hingga 1,47 meter pada 27 Desember. Secara umum, surut terendah terjadi pada pagi hari, sedangkan pasang tertinggi teramati pada sore hingga malam hari sepanjang periode pengamatan. Pola ini mencerminkan karakteristik dinamis pasang surut yang berperan penting dalam kejadian banjir ROB di wilayah tersebut.



Gambar 6. Grafik ketinggian permukaan laut hasil luaran model TMD di Pulau Barrang Lompo, Kec. Sangkarrang pada tanggal 23-27 Desember 2022

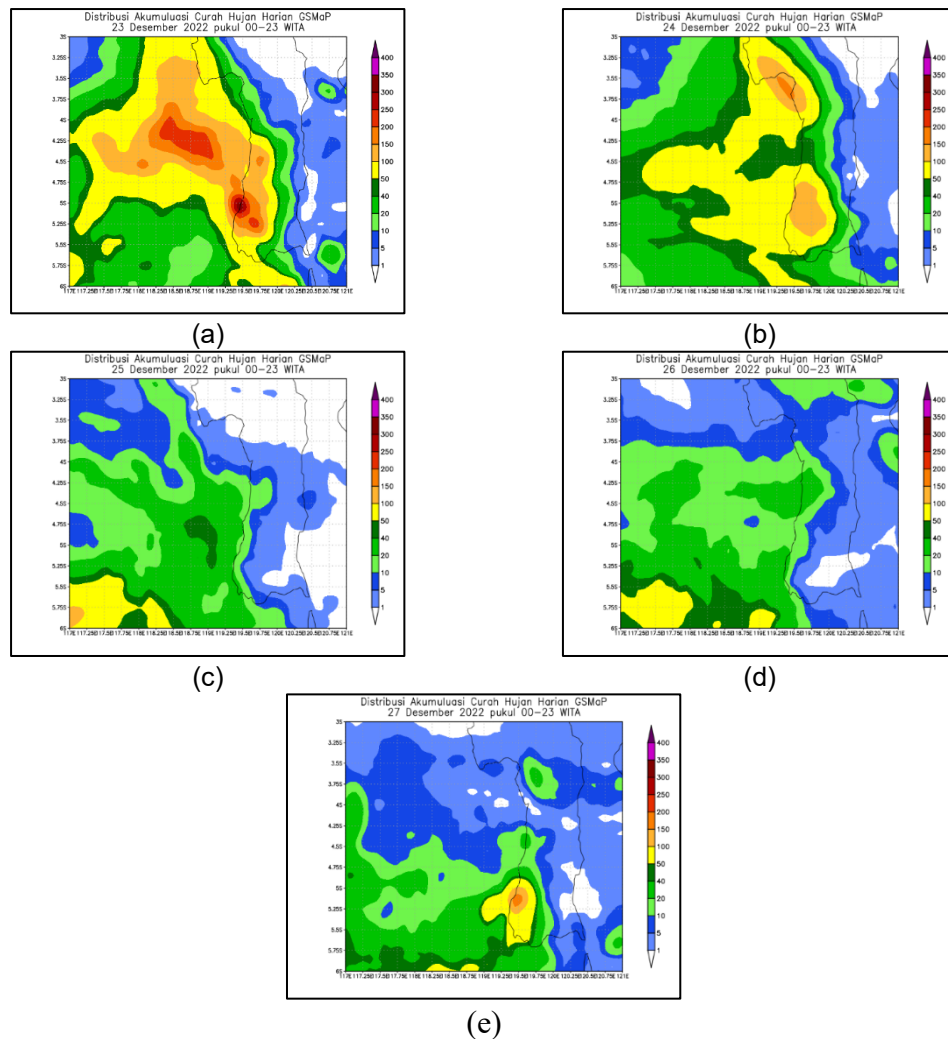
d) Analisis pola curah hujan (RR)

Curah hujan tinggi berkontribusi signifikan terhadap peningkatan potensi banjir ROB di wilayah penelitian. Data akumulasi hujan harian selama 23–27 Desember 2022 (Gambar 7) menunjukkan variasi intensitas mulai dari hujan ringan hingga sangat lebat. Puncak curah hujan tercatat pada 23 Desember dengan kategori sedang hingga sangat lebat, mencapai akumulasi 350 mm per hari di Perairan Spermonde Makassar. Meskipun terjadi penurunan pada 24 Desember, intensitas hujan tetap berada dalam kisaran sedang hingga sangat lebat, sedangkan 25 dan 26 Desember menandai fase perlemahan dengan hujan ringan hingga lebat yang bergeser ke wilayah Selat Makassar bagian selatan. Pada 27 Desember terjadi penguatan kembali curah hujan dengan akumulasi tertinggi sekitar 200 mm per hari di Perairan Spermonde Makassar.

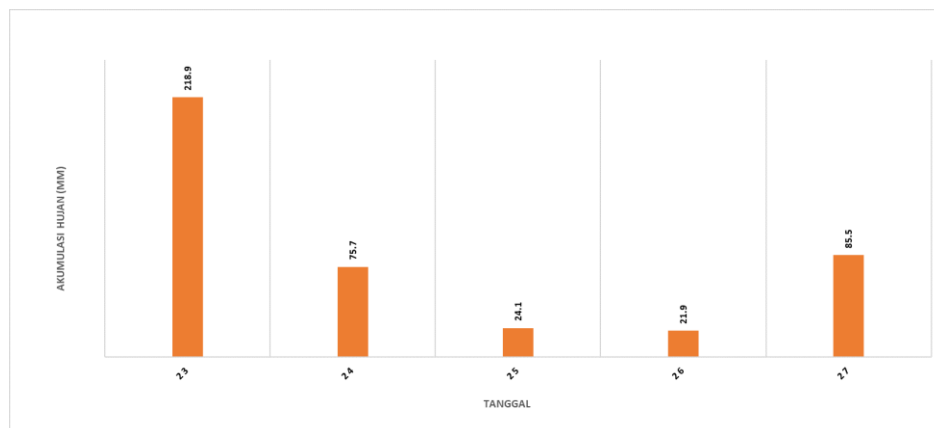
Analisis data curah hujan di Pulau Barrang Lompo (Gambar 8 dan 9) menunjukkan fluktuasi intensitas antara sedang hingga sangat lebat. Pola curah hujan dimulai dengan fase puncak ekstrem pada awal periode,

menurun signifikan di pertengahan periode, kemudian meningkat secara bertahap menjelang akhir pengamatan. Akumulasi hujan harian tertinggi sebesar 218,9 mm terjadi pada 23 Desember, dengan kejadian hujan sangat lebat 103,6 mm dalam tiga jam pada pukul 02.00 WITA. Pada hari berikutnya, 24 Desember, curah hujan menurun menjadi 75,7 mm dengan intensitas rendah hingga sedang yang tersebar merata sepanjang hari. 25 dan 26 Desember menandai fase perlemahan dengan akumulasi hujan masing-masing sebesar 24,1 mm dan 21,9 mm, dimana hujan cenderung ringan dengan pola waktu yang fluktuatif. Akumulasi hujan meningkat kembali pada 27 Desember menjadi 85,5 mm, diawali dengan intensitas rendah di pagi hari dan peningkatan signifikan pada sore hingga malam hari sebelum menurun lagi.

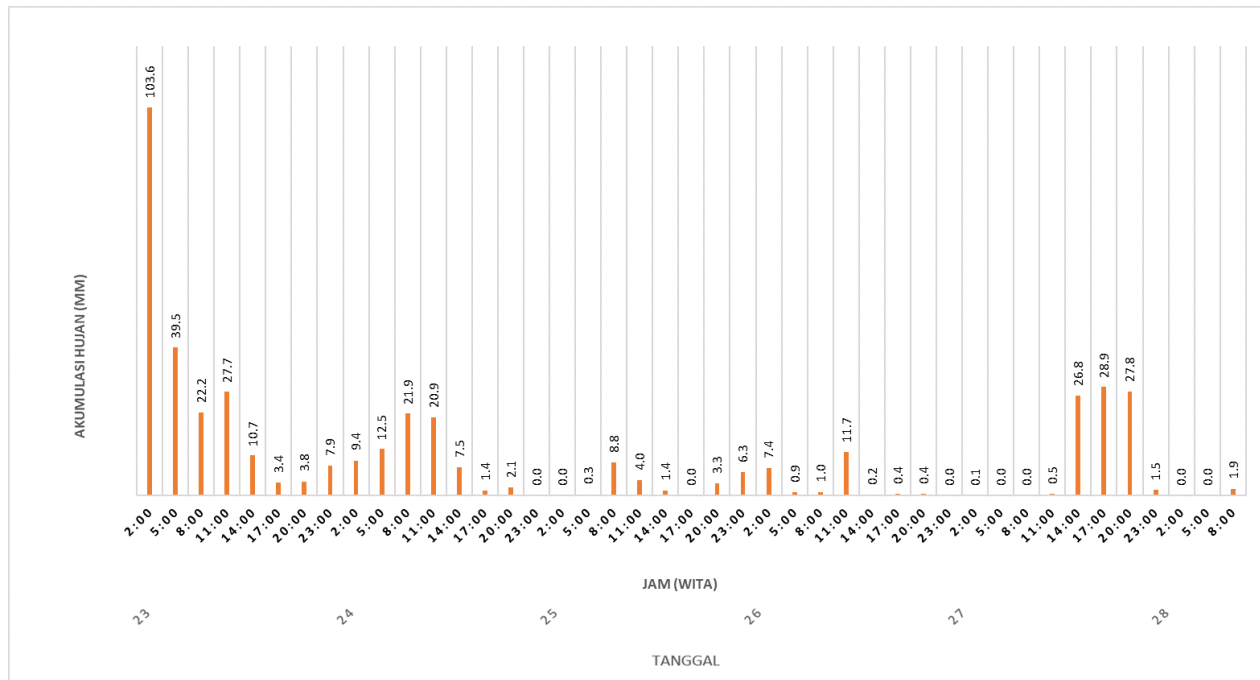
Pola curah hujan yang fluktuatif dan variasi intensitas tersebut memainkan peranan penting dalam kejadian banjir ROB di lokasi penelitian, yang dapat dijadikan parameter analisis faktor meteorologis dalam simulasi dan prediksi kejadian serupa di masa depan.



Gambar 7. Peta akumulasi hujan harian pengamatan satelit GSMaP pada pukul 00.00-23.00 WITA; (a) 23 Desember 2022, (b) 24 Desember 2022, (c) 25 Desember 2022, (d) 26 Desember 2022, (e) 27 Desember 2022



Gambar 8. Grafik akumulasi hujan harian pengamatan satelit GSMaP di Pulau Barrang Lompo, Kec. Sangkarrang pada tanggal 23-27 Desember 2022



Gambar 9. Grafik akumulasi hujan per tiga jam pengamatan satelit GSMP di Pulau Barrang Lompo, Kec. Sangkarrang pada tanggal 23-27 Desember 2022

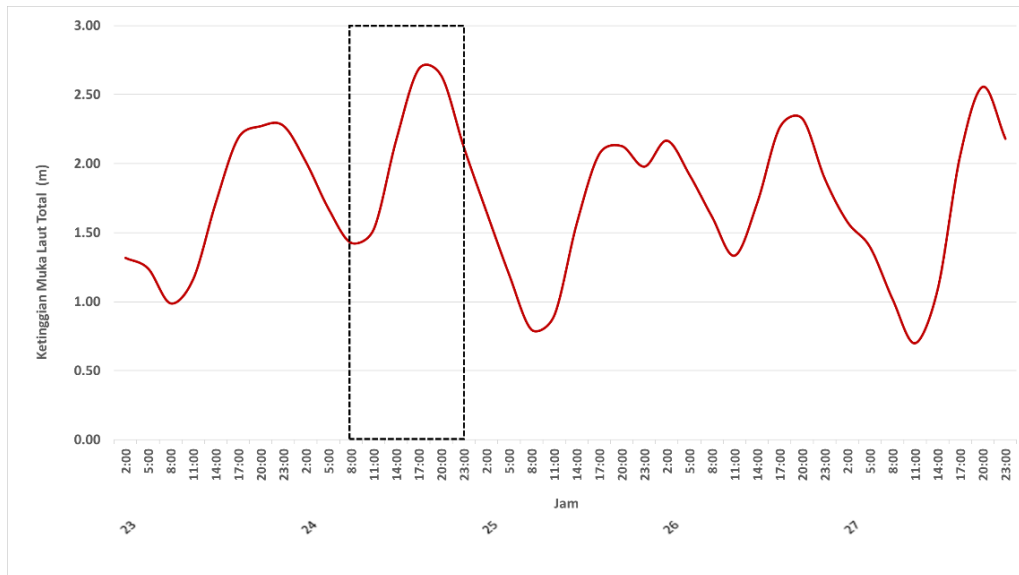
e) Analisis pola tinggi total muka laut (TTML)

Analisis pola tinggi total muka laut (TTML) (Gambar 10) menunjukkan fluktuasi permukaan laut yang bersifat periodik dan dinamis selama 23–27 Desember 2022 di Pulau Barrang Lompo, dengan rentang ketinggian antara 0,7 hingga 2,7 meter. TTML merupakan representasi ketinggian permukaan laut saat kejadian banjir ROB dan dihitung sebagai penjumlahan antara pasang surut astronomis (AT) dan tinggi gelombang laut akibat angin (Hs). Kejadian banjir ROB pada 24 Desember 2022 pagi hingga sore hari ditandai oleh puncak TTML tertinggi pada pukul 17.00 WITA.

Pada 23 Desember, TTML bervariasi antara 0,99 dan 2,27 meter, dengan puncak mencapai 1,32 meter pada pukul 02.00 WITA yang kemudian menurun hingga pagi hari dan naik kembali pada malam hari hingga pukul 20.00 WITA, kondisi ini bertahan hingga dini hari berikutnya. Hari kejadian banjir, 24 Desember, memperlihatkan TTML yang lebih tinggi, berkisar antara 1,43 sampai 2,69 meter, dengan puncak tertinggi 2,01 meter pada pukul 02.00 WITA dan puncak utama pada pukul 17.00 WITA, diikuti penurunan hingga esok hari.

Tanggal 25 Desember menunjukkan penurunan signifikan TTML dengan rentang 0,8 hingga 2,13 meter, dimana nilai terendah terjadi pada dini hingga pagi hari, diikuti kenaikan tajam pada siang hingga sore hari dan penurunan kembali di malam hari. Tanggal 26 Desember mencatat fluktuasi TTML terkecil di antara hari lain, dengan nilai konsisten di atas 1,25 meter sepanjang hari, menandakan stabilitas tinggi pada permukaan laut. Fluktuasi paling tajam terjadi pada 27 Desember, dengan rentang TTML antara 0,70 hingga 2,56 meter, mengikuti pola menurun di dini hingga pagi hari dan meningkat di sore serta malam hari.

Pola harian TTML menampilkan kecenderungan puncak tertinggi pada sore dan malam hari, sementara nilai terendah umumnya terjadi pada dini hingga pagi hari. Fluktuasi ini mencerminkan pengaruh dominan dari pasang surut astronomis yang diperkuat oleh tingginya gelombang laut akibat angin pada titik maksimum dan minimum, yang berkontribusi signifikan dalam pembentukan banjir ROB selama periode pengamatan.



Gambar 10. Grafik tinggi total muka laut di Pulau Barrang Lompo, Kec. Sangkarrang pada tanggal 23-27 Desember 2022

f) Analisis gabungan seluruh parameter

Analisis gabungan mengkomparasi seluruh parameter yang telah dianalisis secara individu untuk memahami hubungan antarvariabel selama fase pra kejadian, saat kejadian, dan pasca kejadian banjir ROB di Pulau Barrang Lompo. Fase pra kejadian berlangsung dari 23 Desember 2022 pukul 02.00 hingga 24 Desember pukul 05.00 WITA, fase kejadian pada 24 Desember pukul 08.00 hingga 23.00 WITA, dan fase pasca kejadian mencakup 25–27 Desember 2022 (Tabel 4).

Pada fase pra kejadian, nilai tinggi total muka laut (TTML) meningkat dari 0,99 menjadi 2,27 meter, didorong oleh pasang laut astronomis hingga 1,52 meter, peningkatan kecepatan angin dari 12 hingga 19 knot dari arah barat, dan gelombang signifikan yang meningkat dari 0,65 menjadi 1,27 meter. Intensitas curah hujan ekstrem sebesar 103,6 mm per tiga jam pada pukul 02.00 WITA tanggal 23 Desember menyebabkan kejenuhan tanah, yang mengurangi kapasitas infiltrasi dan memperbesar limpasan permukaan. Kondisi ini menciptakan dasar yang sangat rentan terhadap banjir ROB.

Fase kejadian menunjukkan puncak nilai ekstrem, dengan TTML mencapai 2,69 meter pada pukul 17.00 WITA—nilai tertinggi sepanjang periode analisis—yang merupakan kombinasi dari pasang laut 1,51 meter dan gelombang laut 1,17 meter. Kecepatan angin maksimum 19 knot dari arah barat hingga barat laut turut memperkuat gelombang. Walaupun curah hujan

maksimum pada fase ini 21,9 mm per tiga jam lebih rendah dibanding hari sebelumnya, kejenuhan tanah dan TTML yang konsisten di atas 1 meter menghasilkan akumulasi massa air signifikan yang menyebabkan banjir ROB.

Pada fase pasca kejadian, TTML masih tinggi, misalnya 2,26 meter pada 26 Desember pukul 17.00 WITA dan 2,55 meter pada 27 Desember pukul 20.00 WITA, namun tidak terjadi banjir lanjutan. Penurunan nilai gelombang laut (0,63–1,31 meter) dan kecepatan angin, serta ketidaksinkronan antara curah hujan lokal tinggi dengan puncak pasang dan gelombang laut yang tinggi menyebabkan TTML tidak meningkat secara sinergis. Hal ini menunjukkan bahwa keberhasilan prediksi banjir ROB bergantung tidak hanya pada besarnya parameter individual, tetapi juga pada keselarasan waktu kemunculannya.

Keseluruhan analisis menegaskan bahwa banjir ROB di Pulau Barrang Lompo pada 24 Desember 2022 dipicu oleh kombinasi simultan parameter astronomis, oseanografis, dan meteorologis yang saling memperkuat. Keselarasan temporal antara pasang tertinggi harian, kecepatan angin yang tinggi dari barat, gelombang laut yang besar, serta curah hujan ekstrem pada kondisi tanah jenuh menjadi faktor kunci penyebab kejadian ini. Pola penyebab ini sejajar dengan temuan Mahagnyana dkk. (2024) terkait banjir ROB di Parepare, yang melibatkan kombinasi gelombang laut sedang, pasang tertinggi harian, dan curah hujan ekstrem.

Tabel 4. Komparasi komponen analisis ketika pra, saat, dan pasca kejadian banjir ROB di Pulau Barrang Lompo

Parameter	Fase		
	Pra-Kejadian	Saat Kejadian	Pasca Kejadian
Arah Angin	Barat-Barat Laut	Barat Laut	Barat Daya - Barat Laut
Kecepatan Angin (WS)	8-19 knot	11-19 knot	5 - 25 knot
Gelombang Laut (Hs)	0,66 – 1,27 m	0,95-1,26	0,54 – 1,31 m
Muka laut Astronomis (AT)	0,22 – 1,52 m	0,17 – 1,54 m	0,12 – 1,56 m
Curah Hujan (RR)	Akumulasi harian pada tanggal 23 Desember sebesar 218,9 mm dengan curah hujan tertinggi 103,6 mm/3 jam	Akumulasi harian pada tanggal 23 Desember sebesar 75,7 mm dengan curah hujan tertinggi 21,9 mm/3 jam	Akumulasi harian berbeda-beda pada setiap harinya, dengan curah hujan tertinggi 53,0 mm/3 jam
TTML	0,99 – 2,27 m	1,46 – 2,69 m	0,70 – 2,56 m

Ambang Batas (*Threshold*) Kejadian Banjir ROB dan Rekomendasi Terhadap Hasil Penelitian

Penetapan ambang batas (*threshold*) pada parameter penyebab banjir ROB merupakan langkah krusial dalam identifikasi risiko dan mitigasi dini. Berdasarkan analisis data model OFS-BMKG, *Tide Model Driver*, dan observasi GSMaP selama 23–27 Desember 2022 di Pulau Barrang Lompo, threshold ditentukan dengan mempertimbangkan karakteristik fase pra kejadian dan saat kejadian untuk menggambarkan peralihan dari kondisi normal menuju kritis secara objektif (Tabel 5).

Tinggi total muka laut (TTML) ditetapkan pada $\geq 2,3$ meter, di atas nilai maksimum pra kejadian sebesar 2,27 meter, sebagai indikator utama kejadian banjir ROB. TTML merupakan kombinasi dari muka laut astronomis (AT) dan tinggi gelombang laut (Hs), yang keduanya menunjukkan peningkatan signifikan saat kejadian. Muka laut astronomis yang berkontribusi besar terhadap TTML memiliki ambang batas $\geq 1,5$ meter, sejalan dengan nilai puncak pasang tertinggi yang terjadi pada saat banjir.

Ketinggian gelombang laut (Hs) yang menguatkan TTML memiliki ambang batas $\geq 1,2$ meter, menandai transisi

dari kondisi laut normal ke kondisi kritis yang mampu mendorong air ke wilayah pesisir. Kecepatan angin (WS) juga berperan dalam pembentukan gelombang dan dorongan massa air, dengan ambang batas yang ditetapkan pada ≥ 17 knot, melebihi kecepatan angin pada fase pra kejadian dan cukup kuat untuk menginduksi gelombang tinggi.

Curah hujan (RR) memiliki peran signifikan dalam memperparah banjir, khususnya di daerah dengan drainase terbatas. Ambang batas curah hujan ekstrem ditetapkan pada ≥ 150 mm per hari atau ≥ 100 mm dalam tiga jam, berdasarkan akumulasi curah hujan tinggi sebelum kejadian banjir yang menyebabkan akumulasi air permukaan.

Rekomendasi utama adalah prioritas pemberian perhatian terhadap parameter curah hujan ekstrem dalam sistem peringatan dini banjir ROB, terutama jika terjadi bersamaan dengan pasang tertinggi harian dan gelombang laut dalam kategori sedang. Pendekatan ini diharapkan dapat meningkatkan efektivitas mitigasi risiko dan kesiapsiagaan wilayah pesisir terhadap banjir ROB.

Tabel 5. Ambang batas kejadian banjir ROB di lokasi penelitian

Parameter	Lokasi	Ambang Batas (Threshold)	Dasar Penetapan (Pra & Saat Kejadian)
Tinggi Total Muka Laut (TTML)	Perairan Spermonde Makassar, khususnya Pulau Barrang Lompo	≥ 2.3 m	Nilai maksimum saat pra kejadian adalah 2.27 m. TTML maksimum saat kejadian banjir melebihi nilai ini.
Water Level Astronomis (AT)	Perairan Spermonde Makassar, khususnya Pulau Barrang Lompo	≥ 1.5 m	1.52 m merupakan ketinggian pasang tertinggi saat pra kejadian yang berkontribusi besar terhadap kenaikan TTML.
Ketinggian Gelombang (Hs)	Selat Makassar bagian Selatan	2.5 - 4 m (kategori tinggi)	Terjadi Hs yang tinggi dari selat makassar bagian selatan menuju ke perairan spermonde makassar pada pra dan saat kejadian
Kecepatan Angin	Perairan Spermonde Makassar, khususnya Pulau Barrang Lompo	≥ 1.2 m	Gelombang setinggi 1.16 m yang tercatat pada 23 Desember 23:00 WITA, turut mendongkrak TTML ke nilai kritis.
	Selat Makassar bagian Selatan	20-35 knot	Angin kuat sebesar 20-35 knot dari Barat Daya - Barat Laut pada pra dan saat kejadian.
Curah Hujan	Perairan Spermonde Makassar, khususnya Pulau Barrang Lompo	≥ 17 knot	Kecepatan angin tertinggi saat pra kejadian yang dapat memperkuat pembentukan gelombang.
	Perairan Spermonde Makassar, khususnya Pulau Barrang Lompo	≥ 150 mm perhari atau ≥ 100 mm pertiga jam	Curah hujan ekstrem yang terjadi pada 24 jam sebelumnya, khususnya pada 23 Desember 2022 pukul 02:00 WITA. Berkontribusi pada genangan di daratan dan memperparah kejadian banjir.

KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil penelitian, dapat disimpulkan bahwa model *Ocean Forecast System* (OFS) BMKG dan *Tide Model Driver* (TMD) valid untuk menganalisis kejadian banjir ROB di Pulau Barrang Lompo, Kota Makassar, yang dibuktikan dengan nilai korelasi dan Level of Confidence (LOC) tinggi saat diverifikasi dengan data observasi. Banjir ROB di wilayah ini dipicu oleh sinergi antara pasang laut tertinggi harian, gelombang laut kategori sedang, kecepatan angin tinggi, serta curah hujan ekstrem, dengan tinggi total muka laut (TTML) maksimum mencapai 2,69 meter. Ambang batas yang diusulkan untuk peringatan dini banjir ROB di Perairan Spermonde Makassar, khususnya Pulau Barrang Lompo, adalah TTML $\geq 2,3$ meter disertai curah hujan ≥ 150 mm per hari.

Rekomendasi penelitian ini menekankan pentingnya mengutamakan parameter curah hujan ekstrem dalam pengambilan keputusan peringatan dini banjir ROB, terutama bila terjadi bersamaan dengan pasang laut

tertinggi harian, karena kombinasi tersebut memberikan dampak signifikan terhadap kejadian banjir. Verifikasi model OFS-BMKG dan TMD sebaiknya diperluas ke lebih banyak titik pengamatan dan dalam periode yang lebih panjang untuk meningkatkan akurasi validasi dengan memanfaatkan data satelit yang lebih representatif. Selain itu, penggunaan instrumen verifikasi gelombang alternatif seperti Radar Gelombang atau *Wave Rider Buoy* disarankan untuk menghasilkan evaluasi yang lebih komprehensif. Penelitian lanjutan pada kasus banjir ROB periode berbeda juga diperlukan untuk memahami keterkaitan faktor astronomis, oseanografis, dan meteorologis terhadap kejadian banjir ROB di pesisir barat Sulawesi Selatan, khususnya di Kota Makassar.

DAFTAR PUSTAKA

- Antaranews.com. (2022, December 25). *Seratusan rumah warga pulau di Kota Makassar teredam banjir* ROB. <https://makassar.antaranews.com/berita/452172/seratusan-rumah-warga-pulau-di-kota-makassar-teredam-banjir-ROB?>
- BPS RI. (2020). Statistik Sumber Daya Laut dan Pesisir Tahun 2020. *Badan Pusat Statistik*.
- Cabrita, P., Montes, J., Duo, E., Brunetta, R., & Ciavola, P. (2024). The Role of Different Total Water Level Definitions in Coastal Flood Modelling on a Low-Elevation Dune System. *Journal of Marine Science and Engineering*, 12(6), 1003. <https://doi.org/10.3390/jmse12061003>
- Danial, Asmidar, Syahrul, Hamsiah, & Nining W. Ningsih. (2021). Analisis Perubahan Garis Pantai Menggunakan Aplikasi Penginderaan Jauh di Wilayah Pesisir Untia Kota Makassar Provinsi Sulawesi Selatan. *AGRIKAN - Jurnal Agribisnis Perikanan*, 14(2), 389–395.
- Efendi, A. N., Geonova, M. F., Widodo, P., Saragih, H. J. R., Suwarno, P., Mamahit, D. A., & Trismadi. (2023). Karakteristik Gelombang Laut Indoneisa Untuk Mendukung Kegiatan Laut dan Keamanan Maritim. *G-Tech: Jurnal Teknologi Terapan*, 7(2), 346–357. <https://doi.org/10.33379/gtech.v7i2.1989>
- Fauzi, I., Sultan, D., & Rauf, A. (2021). KAJIAN PERUBAHAN GARIS PANTAI DENGAN MENGGUNAKAN TEKNOLOGI PENGINDRAAN JAUH DI WILAYAH PESISIR KECAMATAN SINJAI TIMUR, KABUPATEN SINJAI. *JOURNAL OF INDONESIAN TROPICAL FISHERIES (JOINT-FISH): Jurnal Akuakultur, Teknologi Dan Manajemen Perikanan Tangkap, Ilmu Kelautan*, 4(1), 35–46. <https://doi.org/10.33096/joint-fish.v4i1.87>
- Gayathri, R., Bhaskaran, P. K., & Jose, F. (2017). Coastal inundation research: An overview of the process. In *Current Science* (Vol. 112, Issue 2). <https://doi.org/10.18520/cs/v112/i02/267-278>
- Jin, Z., Yezheng, W., & Gang, Y. (2005). General formula for estimation of monthly average daily global solar radiation in China. *Energy Conversion and Management*, 46(2). <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2004.02.020>
- Khotimah, M. K. (2012). *Validasi Tinggi Gelombang Signifikan Model Gelombang Windwave-5 dengan Menggunakan Hasil Pengamatan Satelit Altimetri Multimisi* [Thesis]. Universitas Indonesia.
- Kuntinah, Nugraheni, I. R., & Ardianto, R. (2021). The Simulation of Water Level Using Delft3D Hydrodynamic Model to analyze the case of coastal Inundation in Pontianak. *Innovative Technology and Management Journal*, 4. <https://doi.org/10.70954/itmj.v4i1.266>
- Mahagnyana, Eko Hadi Sujiono, Pariabti Palloan, & Nayla Alvina Rahma. (2024). Simulating Ocean Surface Condition on an Extreme Weather Using Hydrodynamic 3D Model. *International Journal of Marine Engineering Innovation and Research*, 9(1), 153–163.
- medcom.id. (2022, December 25). *Banjir Merendam 4 Daerah di Sulsel*. https://www.medcom.id/nasional/daerah/ZkeLqnr-banjir-merendam-4-daerah-di-sulsel#google_vignette
- Pushidrosal. (2020). *Tabel Pasang Surut Kepulauan Indonesia*. Pushidrosal.
- Republika. (2022, December 23). *Banjir ROB Landa Pesisir Maros dan Makassar*. <https://news.republika.co.id/berita/rncro382/banjir-ROB-landa-pesisir-maros-dan-makassar>
- Rumsey, D. (2007). Intermediate statistics for dummies. In *Wiley Publishing*.
- Sanjaka, P. A., Widada, S., & Prasetyawan, I. B. (2013). Pemodelan Inundasi (Banjir ROB) di Pesisir Kota Semarang Dengan Menggunakan Model Hidrodinamika. *Journal of Oceanography*, 2(3).
- Supriyadi, E. (2019). PEMANFAATAN SATELIT ALTIMETRI UNTUK VERIFIKASI TINGGI GELOMBANG SIGNIFIKAN OCEAN FORECAST SYSTEM (OFS) – MODEL BMKG. *Jurnal Meteorologi Dan Geofisika*, 19(2). <https://doi.org/10.31172/jmg.v19i2.586>
- Wahyudi, R., Sari, R. F., & Widyasari, R. (2021). PENENTUAN POLA PENYEBARAN CURAH HUJAN HARIAN KABUPATEN KARO DENGAN MENGGUNAKAN RANTAI MARKOV ORDE-N. *J. Ris. & Ap. Mat*, 05(02).

