

Analisis Kejadian Banjir ROB di Provinsi Bengkulu Periode 2022-2024

Lisa As'syifa Agustina¹, Ashar Muda Lubis¹, Widodo Setiyo Pranowo^{2,3*}

¹Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Bengkulu
Jl. W.R Supratman, Kandang Limun, Bengkulu 38371, Indonesia

²Kelompok Riset Ocean Climate, Pusat Riset Iklim dan Atmosfer, Badan Riset dan Inovasi Nasional
KST Prof. Samaun Samadikun, Jalan Cisitu Sangkuriang, Bandung, 40135, Indonesia

³Program Studi S2 Oseanografi, Sekolah Tinggi Teknologi Angkatan Laut
Jl. Ganesha 1, Kelapa Gading Barat, Jakarta Utara, Indonesia
Email : *widodo.setiyo.pranowo@brin.go.id

Abstract

Analysis of Rob Flood Incidents in Bengkulu Province for the Period 2022-2024

Bengkulu Province is one of the coastal areas prone to tidal flooding due to a combination of various oceanographic and meteorological factors such as tides, wind speed, rainfall, and sea wave height. This study aims to analyze the dominant factors causing tidal floods in Bengkulu Province during the period 2022-2024. Data on tidal flood events were obtained from BPBD and BPS reports of Bengkulu Province, as well as mass media sources. The analysis was conducted using wind data from the European Center for Medium Weather Forecast (ECMWF), rainfall data from the Meteorology, Climatology and Geophysics Agency (BMKG), and tidal prediction data from the Geospatial Information Agency (BIG). The results show that during the west season, tidal floods are triggered by strong westerly winds due to the West Monsoon, full tides, and moderate to high rainfall, as in the events of February 4-6, 2022 and January 26-27, 2023. During the east monsoon, tidal floods are caused by steady southeast winds and high tides due to the East Monsoon, despite low rainfall, as in the events of July 30, 2023 and August 3-5, 2023. In the transitional season, tidal floods tend to be influenced by a combination of full tides, moderate winds and light to moderate rainfall, such as on May 14-15, 2022 and October 16-17, 2024. Factors such as tropical cyclone activity and the Indian Ocean Dipole (IOD) also contribute significantly to the increased risk of tidal flooding, particularly strengthening winds and increasing rainfall in certain seasons.

Keywords: tidal flooding, tidal conditions, wind speed, rainfall, Bengkulu Province.

Abstrak

Provinsi Bengkulu merupakan salah satu wilayah pesisir yang rawan terkena banjir rob akibat kombinasi berbagai faktor oseanografis dan meteorologis seperti pasang surut, kecepatan angin, curah hujan, dan tinggi gelombang laut. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis faktor dominan penyebab banjir rob di Provinsi Bengkulu selama periode 2022–2024. Data kejadian banjir rob diperoleh dari laporan BPBD dan BPS Provinsi Bengkulu, serta sumber media massa. Analisis dilakukan dengan menggunakan data angin dari European Center for Medium Weather Forecast (ECMWF), data curah hujan dari Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG), serta data prediksi pasang surut dari Badan Informasi Geospasial (BIG). Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada musim barat, banjir rob dipicu oleh angin barat yang kuat akibat Monsun Barat, pasang purnama, dan curah hujan sedang hingga tinggi, seperti pada kejadian 4–6 Februari 2022 dan 26–27 Januari 2023. Selama musim timur, banjir rob disebabkan oleh angin tenggara yang stabil dan gelombang tinggi akibat Monsun Timur, meskipun curah hujan rendah, seperti pada kejadian 30 Juli 2023 dan 3–5 Agustus 2023. Pada musim peralihan, banjir rob cenderung dipengaruhi oleh kombinasi pasang purnama, angin sedang, dan curah hujan ringan hingga sedang, seperti pada 14–15 Mei 2022 dan 16–17 Oktober 2024. Faktor-faktor seperti aktivitas tropikal siklon dan Indian Ocean Dipole (IOD) juga memberikan kontribusi signifikan terhadap peningkatan risiko banjir rob, terutama memperkuat angin dan meningkatkan curah hujan pada musim tertentu.

Kata kunci: banjir rob; pasang surut; kecepatan angin; curah hujan; Provinsi Bengkulu

PENDAHULUAN

Provinsi Bengkulu terletak di wilayah pesisir barat Pulau Sumatera yang berbatasan langsung dengan Samudra Hindia, dengan luas wilayah sekitar 19.919 km² serta garis pantai sepanjang 525 km (Citra *et al.*, 2022). Kondisi geografis tersebut menjadikan Bengkulu rentan terhadap fenomena kelautan seperti pasang surut, kenaikan muka air laut, serta angin yang membangkitkan

gelombang, yang dapat memicu kejadian banjir rob (Williams *et al.*, 2020). Banjir rob sendiri merupakan fenomena bencana yang sering terjadi di wilayah pesisir Indonesia di mana air laut meluap ke daratan, termasuk Bengkulu dan dapat berdampak pada lingkungan, infrastruktur, serta aktivitas sosial dan ekonomi masyarakat. Menurut Setiawan (2016) menyebutkan bahwa kompleksitas dinamika wilayah pesisir menjadikannya rentan terhadap berbagai bencana, terutama saat terjadi kombinasi antara angin kencang dan pasang purnama.

Banjir rob di Bengkulu dipengaruhi oleh dinamika pasang surut yang bersifat campuran dengan dua kali pasang dan surut setiap harinya, yang dipengaruhi oleh gravitasi bulan dan matahari serta faktor lokal seperti angin dan tekanan atmosfer (Widada *et al.*, 2020). Selain itu, angin ekuatorial yang membawa kelembapan tinggi sering memicu gelombang besar dan cuaca ekstrem saat tekanan udara rendah, yang dapat memperparah dampak banjir rob (Erlani & Nugrahandika, 2019). Kombinasi antara tekanan rendah, pasang tinggi, dan angin kencang dapat menyebabkan gelombang besar yang mengakibatkan banjir rob (Gara, 2019). Kecepatan dan intensitas angin diukur dalam meter per detik (m/s) atau kilometer per jam (km/jam), sementara kenaikan muka air laut akibat pasang surut diukur dalam meter atau sentimeter tergantung amplitudonya (Ajr & Dwirani, 2019). Angin kencang dari tekanan rendah di Samudera Hindia sering memicu cuaca ekstrem seperti badai dan gelombang tinggi, yang diperburuk oleh pasang purnama, sehingga fenomena ini tidak hanya berdampak pada lingkungan, tetapi juga pada perekonomian masyarakat pesisir (Chandra & Suprpto, 2016; Diana *et al.*, 2024).

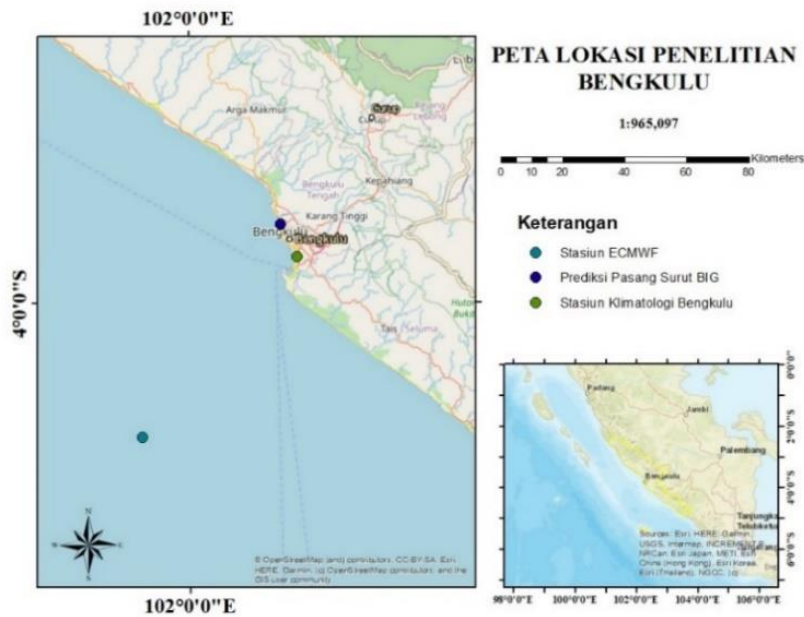
Berdasarkan laporan media massa, data BPBD Provinsi Bengkulu dan BPS, banjir rob biasanya terjadi pada bulan Desember hingga Juli, yang mencakup musim barat, peralihan, dan timur. Menurut Setiyono *et al.* (2024), dampak langsung maupun tidak langsung dari banjir rob mengganggu aktivitas sosial dan ekonomi, terutama di sektor industri lokal, permukiman, dan pariwisata pesisir. Langkah awal yang penting adalah melakukan inventarisasi untuk menentukan faktor utama, seperti pasang surut, angin, dan curah hujan.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kejadian banjir rob di Provinsi Bengkulu selama periode 2022-2024 serta menganalisis faktor dominan yang berkontribusi terhadap terjadinya banjir rob di wilayah Bengkulu. Analisis dilakukan dengan menggunakan data kecepatan dan arah angin, tinggi gelombang, curah hujan, serta pasang surut, guna mengidentifikasi pola kejadian banjir rob dan faktor pemicunya. Artikel ilmiah ini merupakan hasil studi awal (*preliminary study*) banjir rob Bengkulu, dimana selama ini memang belum ada artikel ilmiah yang membahas atau studi tentang banjir rob ini. Sehingga diharapkan artikel ilmiah ini bisa menjadi '*milestone*' untuk melakukan studi lanjutan mengenai banjir rob di Bengkulu dengan menggunakan data observasi yang lebih panjang dan metode analisis yang lebih mendalam.

MATERI DAN METODE

Penelitian ini dilakukan di Provinsi Bengkulu dengan lokasi utama meliputi titik prediksi pasang surut oleh Badan Informasi Geospasial (BIG) pada koordinat 102.298° BT dan -3.8515° LS, Stasiun Klimatologi Bengkulu pada koordinat 102.31190° BT dan -3.86520° LS, serta data angin dari European Center for Medium Weather Forecast (ECMWF) pada koordinat 102.6° BT dan -3.67° LS. Periode pengamatan meliputi kejadian banjir rob dari tahun 2022-2024.

Penelitian ini menggunakan data sekunder yang meliputi informasi mengenai kejadian banjir rob yang tercatat di Provinsi Bengkulu, yang diperoleh dari laporan media massa dan data resmi dari BPBD Bengkulu serta BPS. Data tambahan mencakup informasi angin dari ERA5 ECMWF, curah hujan yang tercatat di stasiun meteorologi BMKG, serta prediksi pasang surut yang diperoleh dari BIG (Egaputra *et al.*, 2022). Analisis data dilakukan menggunakan pendekatan statistik deskriptif (Tritama *et al.*, 2023).



Gambar 1. Peta Lokasi Riset

Data angin yang diperoleh dari ECMWF mencakup komponen meridional (u) dan zonal (v) pada ketinggian 10 meter dengan interval waktu per jam. Proses ekstraksi data angin dilakukan menggunakan Ocean Data View (ODV) dan diubah ke dalam format spreadsheet untuk dianalisis lebih lanjut menggunakan Excel. Kecepatan dan arah angin dihitung berdasarkan rumus yang dikemukakan oleh Guillori dan Giusti (2021), di mana kecepatan angin (V) dihitung menggunakan rumus :

$$V = \sqrt{u^2 + v^2}$$

Untuk arah datang angin (ϕ) dihitung menggunakan rumus :

$$\phi = \text{mod} \left(180 + \frac{180}{\pi} \text{atan}^2(u, v) 360 \right)$$

Dimana u merupakan kecepatan angin pada arah horizontal dan v yang merupakan kecepatan angin pada arah vertikal

Hasil perhitungan kecepatan dan arah angin dianalisis lebih lanjut dengan menggunakan WRPlot untuk memvisualisasikan pola dominan angin dalam bentuk wind rose. Kecepatan angin juga diklasifikasikan berdasarkan skala Beaufort (WMO, 2017) untuk mempermudah interpretasi data. Data angin ini kemudian dibandingkan dengan prediksi pasang surut dan data curah hujan. Prediksi pasang surut diperoleh dari situs resmi BIG dengan interval per jam, yang digunakan untuk mengidentifikasi kondisi pasang saat banjir rob terjadi (Djamaluddin *et al.*, 2024). Data curah hujan diperoleh dari stasiun Klimatologi Bengkulu BMKG melalui portal <http://dataonline.bmkg.go.id> dalam bentuk tabel harian dengan satuan milimeter (mm). Semua data dikumpulkan dan dibandingkan untuk mengidentifikasi faktor utama yang berkontribusi terhadap kejadian banjir rob (Jamalludin *et al.*, 2016; Egaputra *et al.*, 2022; Tritama *et al.*, 2023).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Riset ini mengidentifikasi tanggal kejadian banjir rob berdasarkan data bencana yang dihimpun dari BPBD Bengkulu, BPS Provinsi Bengkulu, serta laporan dari berbagai media massa.

Berdasarkan analisis yang dilakukan, banjir rob di Provinsi Bengkulu terjadi pada bulan Januari-Maret, Juli-Oktober dan Mei. Kejadian ini lebih sering terjadi pada bulan Juli dan Agustus yang menunjukkan bahwa banjir rob cenderung terjadi pada musim barat, peralihan 1, dan musim timur. Berikut hasil inventarisasi kejadian banjir rob Provinsi Bengkulu dapat dilihat pada Tabel 1.

Berdasarkan pola kejadian, banjir rob di Bengkulu lebih sering terjadi pada musim peralihan (April-September) dengan 8 kejadian, sedangkan musim barat (Januari-Maret) mencatat 3 kejadian, dan Musim timur (Oktober) hanya mencatatkan 1 kejadian. Hasil ini sejalan dengan penelitian Setiawan (2016), yang menyebutkan bahwa ketidakstabilan atmosfer selama peralihan musim meningkatkan potensi gelombang tinggi dan banjir rob di pesisir barat Sumatra. Fenomena ini juga didukung oleh penelitian Widada *et al* (2020), yang menunjukkan bahwa faktor seperti

Tabel 1. Tanggal Kejadian Banjir Rob Privinsi Bengkulu 2022-2024 Berdasarkan Media Pers

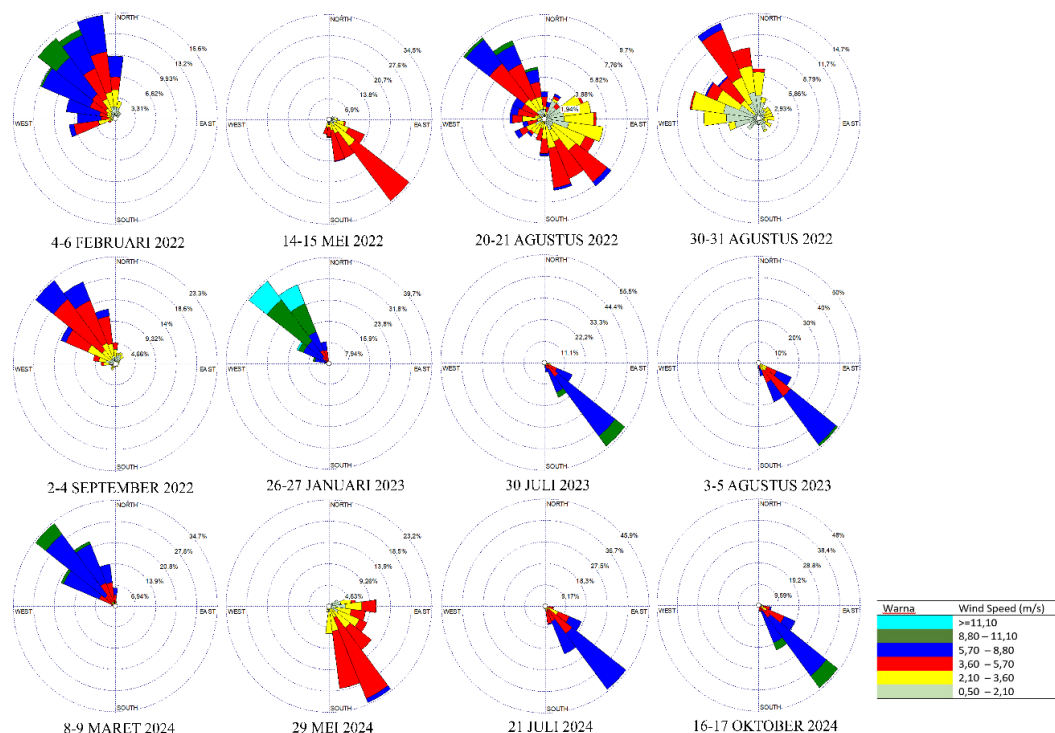
No	Tanggal Kejadian	Kecamatan	Sumber
1.	4-6 Februari 2022	Kecamatan Air Besi, Kecamatan Ketahun, Kecamatan Marga Sakti Sebelat, Kecamatan Lais, dan Kecamatan Batik Nau.	Data Bencana Alam BPS Provinsi Bengkulu & https://news.detik.com
2.	14-15 Mei 2022	Bengkulu Utara	Data Bencana Alam BPBD Bengkulu & https://harianrakyatbengkulu.com
3.	30-31 Agustus 2022	Kecamatan Sungai Serut, Kecamatan Muara Bangkahulu dan Kecamatan Ratu Agung	Data Bencana Alam BPS Provinsi Bengkulu & https://m.liputan6.com
4.	20-21 Agustus 2022	Kecamatan Ratu Agung, Kelurahan Tanjung Agung, Kelurahan Tanjung Jaya, Kecamatan Sungai Serut.	Data Bencana Alam BPBD Bengkulu & https://new.okezone.com
5.	2-4 September 2022	Kecamatan Ratu Agung, Kecamatan Gading Cempaka dan Kecamatan Ratu Samban	Data Bencana Alam BPBD Bengkulu & https://Bengkulunews.co.id
6.	26 -27 Januari 2023	Kota Bengklu, Kabupaten Bengkulu Utara, Kabupaten Bengkulu Tengah, Kabupaten Bengkulu Selatan	Data Bencana Alam BPBD Bengkulu & Data BPS Provinsi Bengkulu
7.	30 Juli 2023	Kecamatan Ratu Agung, Kecamatan Teluk Segara, Kecamatan Sungai Serut dan Kecamatan Kampung Melayu	Data Bencana Alam BPBD Bengkulu & Data BPS Provinsi Bengkulu
8.	3-5 Agustus 2023	Kecamatan Teluk Segara, Kecamatan Sungai Serut dan Kecamatan Kampung Melayu	Data Bencana Alam BPBD Bengkulu & https://Bengkulunews.co.id
9.	8-9 Maret 2024	Kota Bengklu, Kabupaten Bengkulu Utara, Kabupaten Seluma	Data Bencana Alam BPBD Bengkulu & https://tribunnews.com
10.	29 Mei 2024	Desa Serangai Kecamatan Batik Nau Bengkulu Utara	Data Bencana Alam BPBD Bengkulu & https://harianrakyatbengkulu.com
11.	21 Juli 2024	Kabupaten Bengkulu Utara, Kabupaten Bengkulu Tengah, Kabupaten Kaur	Data Bencana Alam BPBD Bengkulu & https://kepri.antaranews.com
12.	16-17 Oktober 2024	Pesisir Kota Bengkulu	Data Bencana Alam BPBD Bengkulu

pasang surut, kenaikan muka air laut, serta perubahan pola angin berperan penting dalam meningkatkan risiko banjir rob di wilayah pesisir. Selain itu, sebagian besar kejadian banjir rob terjadi berdekatan dengan musim penghujan atau saat curah hujan tinggi, terutama di musim barat, yang secara klimatologis memang memiliki curah hujan lebih tinggi. Hal ini mengindikasikan adanya keterkaitan antara intensitas hujan dan banjir rob, di mana curah hujan ekstrem dapat memperparah akumulasi air di wilayah pesisir.

Kondisi Angin Pada Kejadian Banjir Rob

Gambar 2 adalah hasil analisis wind rose pada saat kejadian rob 2022 – 2024. Wind rose tersebut menunjukkan pola pergerakan angin monsun (Siregar *et al.*, 2017). Pada tahun 2022, teridentifikasi 5 (lima) kejadian banjir rob, dua di antaranya terjadi pada musim timur dan tiga pada musim barat serta peralihan. Pada tiga dari lima kejadian tersebut, angin kencang bertiup dari arah barat dan barat daya, terutama pada musim timur dan peralihan 2 (Agustus dan September) serta satu kejadian pada musim barat (Februari). Di antara tanggal-tanggal ini, kecepatan angin pada 30–31 Agustus 2022 terpantau paling rendah, yaitu 2,25 m/s, yang menurut skala Beaufort masuk dalam kategori *light breeze*. Sementara itu, pada 4–6 Februari 2022 dan 2–4 September 2022, kecepatan angin tercatat 3,56–5,05 m/s dan masuk dalam kategori *gentle breeze* berdasarkan skala yang sama. Pada dua tanggal lainnya (14–15 Mei 2022 dan 20–21 Agustus 2022), angin bertiup dari tenggara dan selatan dengan kecepatan antara 3,48–3,51 m/s, yang juga dikategorikan sebagai *gentle breeze*.

Pada tahun 2023 terdapat tiga kejadian banjir rob, dengan dua di antaranya terjadi pada musim timur (Juni–September) dan satu pada musim barat. Hasil wind rose menunjukkan bahwa pada dua tanggal di musim timur, angin bertiup dari arah tenggara. Kecepatan angin pada kejadian 3–5 Agustus 2023 dan 30 Juli 2023 mencapai 5,5–6,7 m/s, yang masuk kategori *moderate breeze*. Sebaliknya, pada tanggal 26–27 Januari 2023, yang berada di musim barat, angin bertiup dari arah barat laut dengan kecepatan 8,51 m/s, yang dikategorikan sebagai *fresh breeze*. Seperti



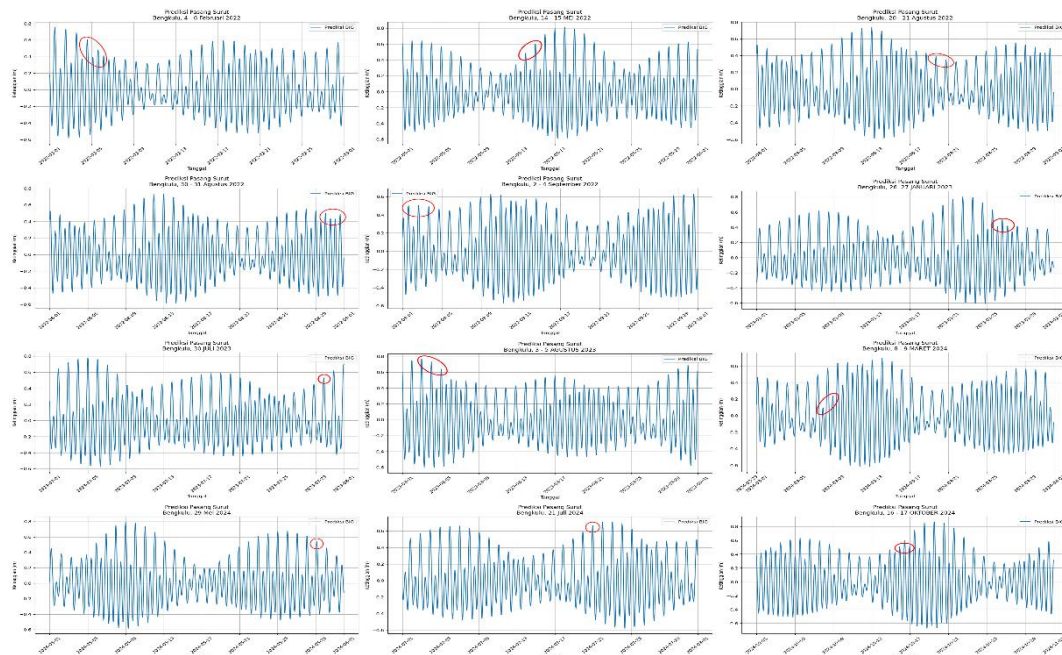
Gambar 2. Wind rose (dibaca : arah datang dari) pada tanggal kejadian banjir rob periode 2022-2024

hasil tahun sebelumnya, kecepatan angin pada musim barat lebih tinggi dibandingkan musim lainnya. Untuk tahun 2024, wind rose mencatat empat kejadian banjir rob. Dua di antaranya terjadi pada musim peralihan 1 (Maret dan Mei), satu pada musim peralihan 2 (Oktober), dan satu pada musim timur. Pada 8–9 Maret 2024, angin bertiup dari barat laut dengan kecepatan 6,26 m/s, yang masuk dalam kategori *moderate breeze*. Pada tanggal 29 Mei 2024, meskipun berada pada musim peralihan 1, angin datang dari tenggara dengan kecepatan 3,43 m/s, yang dikategorikan sebagai *gentle breeze*. Dua kejadian lainnya, pada 21 Juli 2024 dan 16–17 Oktober 2024, angin bertiup dari tenggara dengan kecepatan 5,67–6,36 m/s, masuk dalam kategori *moderate breeze*.

Data wind rose menunjukkan bahwa satu kejadian banjir rob disertai angin dalam kategori *fresh breeze*, yang mampu menghasilkan gelombang dengan tinggi 1,7–2,9 m. Lima kejadian lainnya dipengaruhi oleh angin *moderate breeze* dengan gelombang setinggi 1,65–2,53 m. Selain itu, lima kejadian tercatat dengan angin *gentle breeze* yang menghasilkan gelombang 1,38–2,25 m, sementara satu kejadian dengan angin *light breeze* mampu menghasilkan gelombang setinggi 2–2,5 m. Pengaruh kecepatan angin paling signifikan terlihat pada musim barat, di mana angin dengan kategori *fresh breeze* dan *moderate breeze* sering terjadi dan menghasilkan gelombang tinggi. Sebaliknya, pada musim peralihan dan musim timur, angin umumnya lebih pelan, dengan kategori *gentle breeze* dan *light breeze*, serta datang dari arah timur. Menurut Wicaksana *et al* (2015), menemukan bahwa angin monsoon berkontribusi signifikan terhadap gelombang di wilayah perairan benua maritim Indonesia, kemudian didukung juga oleh Satriadi (2017), bahwa pembentukan gelombang di perairan sangat dipengaruhi oleh pola angin, terutama pada musim barat. Hal ini dikarenakan angin pada musim barat tidak terhalang oleh pulau-pulau, berbeda dengan musim timur di mana arah angin dari tenggara sering terhalang sehingga gelombang yang dihasilkan lebih kecil.

Kondisi Pasang Surut Pada Kejadian Banjir Rob

Prediksi pasang surut BIG pada tahun 2022, empat dari lima kejadian banjir rob tercatat bertepatan dengan kondisi pasang purnama (2–4 September 2022, 4–6 Februari 2022, 14–15 Mei 2022, dan 30–31 Agustus 2022) yang terjadi masing-masing di musim peralihan 2 dan musim barat, posisi pasang purnama mendukung pengaruh angin kencang dalam memicu banjir rob. Sementara



Gambar 3. Pasang surut pada tanggal kejadian banjir rob (lingkaran/oval merah) periode 2022-2024

itu, satu kejadian lainnya, yaitu pada 20–21 Agustus 2022, bertepatan dengan pasang perbani yang dipengaruhi oleh arah dan kecepatan angin, gelombang, atau curah hujan tinggi. Kontribusi dari curah hujan diduga sangat berpengaruh terhadap kejadian banjir rob, karena pada Juli 2022 terjadi supermoon (Pranowo *et al.*, 2024), dimana kekuatan energi pada saat pasang purnama tentunya adalah besar, namun tidak terjadi banjir rob.

Pada tahun 2023, terdeteksi pada tiga tanggal kejadian banjir rob (3–5 Agustus 2023, 26–27 Januari 2023, dan 30 Juli 2023) bertepatan dengan pasang purnama, didukung oleh angin kencang yang signifikan di musim barat dan timur. Pada tahun 2024, dua dari empat tanggal kejadian (29 Mei 2024 dan 21 Juli 2024) terjadi pasang purnama di musim peralihan 1 dan musim timur. Sebaliknya, pada tanggal 16–17 Oktober 2024, yang berlangsung di musim peralihan 2, angin kencang dan pasang purnama meningkatkan risiko banjir rob lebih tinggi dibandingkan dengan kejadian di musim timur, sementara kejadian pada 8–9 Maret 2024 bertepatan dengan pasang perbani, yang dipengaruhi oleh faktor lain di luar pasang surut.

Banjir rob dapat terjadi saat pasang purnama maupun pasang perbani. Dari sepuluh kejadian yang tercatat, sebagian besar terjadi saat pasang purnama, termasuk di musim timur (30–31 Agustus 2022, 30 Juli 2023, 3–5 Agustus 2023, dan 21 Juli 2024) dan musim barat (4–6 Februari 2022, 26–27 Januari 2023). Empat kejadian lainnya terjadi di musim peralihan. Hasil ini sesuai dengan penelitian Djamaluddin *et al* (2024) yang menyatakan bahwa posisi bulan dan matahari secara langsung

Tabel 2. Identifikasi tinggi gelombang, elevasi pasang surut, dan angin pada saat kejadian banjir rob Provinsi Bengkulu periode 2022 – 2024

No	Tanggal Kejadian	Tinggi Gelombang (m)	Pasang (m)	Arah Datang Angin (ECMWF)	Arah Datang Angin (BMKG)	Angin (m/s)
1	4-6 Februari 2022	1,38 1,43 1,64	0,510	Barat	Barat	5,05
2	14-15 Mei 2022	2,25 1,87	0,593	Tenggara	Barat	3,48
3	20-21 Agustus 2022	1,80 1,49	0,330	Selatan	Utara	3,51
4	30-31 Agustus 2022	2,58 2,01	0,433 0,486	Barat Daya	Selatan	2,25
5	2-4 September 2022	1,67 1,70 1,46	0,504 0,435 0,296	Barat	Barat	3,56
6	26 -27 Januari 2023	1,81 2,55	0,421 0,342	Barat Laut	Barat	8,51
7	30 Juli 2023	1,70	0,483	Tenggara	Tenggara	6,7
8	3-5 Agustus 2023	1,73 2,98 2,55	0,322 0,372 0,333	Tenggara	Selatan	5,5
9	8-9 Maret 2024	2,25 2,06	0,573	Barat Laut	Barat	6,26
10	29 Mei 2024	2,05	0,172	Tenggara	Tenggara	3,43
11	21 Juli 2024	1,65	0,129	Tenggar	Tenggara	5,67
12	16-17 Oktober 2024	2,53 2,50	0,595 0,742	Tenggar	Tenggara	6,37

mempengaruhi ketinggian pasang surut, dengan efek maksimum yang terjadi pada saat pasang purnama. Selain itu, penelitian Hanifah dan Ningsih (2018) juga menunjukkan bahwa kombinasi pasang purnama dan angin kencang sering kali memberikan dampak banjir rob di wilayah pesisir. Dua kejadian pada pasang perbani diperkirakan dipengaruhi faktor lain.

Rekapitulasi Tanggal Kejadian

Berdasarkan Tabel 2 banjir rob di Provinsi Bengkulu selama periode 2022–2024 dipengaruhi Boleh tinggi gelombang (1,38–2,58 m), kecepatan angin yang (2,25–8,51 m/s). Kejadian banjir rob sering kali bertepatan dengan pasang purnama, dan pasang purnama dengan elevasi maksimum 2,55m. Curah hujan lebat juga berperan signifikan, terutama di musim barat, dengan angin dominan dari barat dan tenggara mengikuti pola monsun. Menurut skala Beaufort (WMO, 2017), kecepatan angin dalam kategori moderate breeze (5,5–6,7 m/s) dapat menghasilkan gelombang tinggi antara 1,65–2,53 m. Hal ini sesuai dengan temuan Wicaksana *et al.* (2015) dan juga oleh Hanifah dan Ningsih (2018), yang menyatakan bahwa angin monsun di perairan Indonesia secara langsung mempengaruhi tinggi gelombang dengan kondisi pasang purnama. Namun, hasil ini sedikit kontradiktif dengan penelitian Tritama *et al.* (2023) yang menemukan bahwa curah hujan ekstrem lebih jarang menjadi faktor utama banjir rob, berbeda dengan kasus di Bengkulu di mana curah hujan berperan signifikan. Faktor lain, seperti pengaruh Indian Ocean Dipole (IOD) juga mendukung temuan Umam *et al.* (2024) yang menunjukkan kontribusi penting fenomena global terhadap pola angin dan gelombang lokal.

Banjir rob di Bengkulu paling sering terjadi di musim barat (Desember–Februari), musim timur (Juni–September), dan musim peralihan. Selama musim barat, banjir rob umumnya dipicu oleh angin barat yang kuat akibat Monsun Barat, seperti yang terlihat pada kejadian tanggal 4–6 Februari 2022 dan 26–27 Januari 2023. Pengaruh siklon juga tampak, khususnya pada 26–27 Januari 2023, ketika angin kencang dari barat laut berasal dari sistem tekanan rendah atau siklon yang terjadi di

Tabel 3. Identifikasi curah hujan, hari hujan, dan kondisi dipole mode pada Kejadian Banjir Rob di Provinsi Bengkulu Periode 2022–2024

No	Tanggal Kejadian	Curah Hujan (mm)	Keterangan Hujan	Jumlah Hari Hujan	Indeks DMI	IOD
1	4-6 Februari 2022	7,3	Lebat	2	-0.37	Normal
2	14-15 Mei 2022		Tidak Ada Hujan	0	-0.55	Moderate IOD Negatif
3	20-21 Agustus 2022	15,3	Sangat Lebat	1	-1.17	Strong IOD Negatif
4	30-31 Agustus 2022	4,4	Lebat	1	0.51	Moderate IOD Positif
5	2-4 September 2022	37,6 2,4	Sangat Lebat Ringan	2	-1.07	Strong IOD Negatif
6	26 -27 Januari 2023	3,5	Sedang	1	0.09	Normal
7	30 Juli 2023	.8	Ringan	1	0.8	Moderate IOD Positif
8	3-5 Agustus 2023		Tidak Ada Hujan	0	0.71	Moderate IOD Positif
9	8-9 Maret 2024	3,8	Sedang	2	0.54	Moderate IOD Positif
10	29 Mei 2024	9,8	Sedang	0	0.16	Normal
11	21 Juli 2024	62,1	Lebat	1	-0.35	Normal
12	16-17 Oktober 2024	3,2	Ringan	1	-0.36	Normal

Samudera Hindia bagian Selatan. Pembangkitan oleh angin siklon di Samudera Hindia bagian selatan, secara umum, seperti yang dijelaskan oleh Liufandy *et al.* (2022) dan juga oleh Umam *et al.* (2024).

Di musim timur, angin tenggara dominan dipengaruhi oleh Monsun Timur, diperkuat oleh DMI positif yang menghasilkan gelombang tinggi meski curah hujan rendah, seperti pada 30 Juli 2023 dan 3–5 Agustus 2023. Pada musim peralihan, banjir rob seringkali terjadi akibat kombinasi angin, pasang purnama, dan curah hujan sedang, seperti pada 16–17 Oktober 2024. IOD negatif meningkatkan curah hujan ekstrem di musim barat dan peralihan, sedangkan IOD positif memperkuat angin tenggara di musim timur. Pola monsun menjadi faktor utama peningkatan risiko banjir rob di wilayah ini.

KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa banjir rob di Bengkulu selama periode 2022–2024 terjadi sebanyak 12 kali, dengan frekuensi tertinggi pada musim peralihan (8 kejadian), diikuti oleh musim barat (3 kejadian) dan musim timur (1 kejadian). Kecepatan angin selama kejadian berkisar antara 2,25–8,51 m/s, dengan pola dominan angin barat hingga barat laut pada musim barat dan angin tenggara pada musim timur. Kecepatan angin tertinggi tercatat pada 26–27 Januari 2023, mencapai 8,51 m/s, yang dikategorikan sebagai fresh breeze dan berpotensi menghasilkan gelombang tinggi. Selain itu, 10 dari 12 kejadian banjir rob terjadi saat pasang purnama, dengan elevasi pasang maksimum mencapai 2,55 m, menunjukkan bahwa faktor astronomi memiliki pengaruh signifikan dalam meningkatkan risiko banjir rob. Curah hujan juga berkontribusi terhadap kejadian banjir rob, terutama pada 20–21 Agustus 2022, di mana curah hujan mencapai 115,3 mm, yang dikategorikan sebagai sangat lebat. Namun, dari seluruh kejadian yang tercatat, hanya 3 kejadian yang terjadi bersamaan dengan curah hujan lebat (>75 mm), sementara 2 kejadian terjadi tanpa curah hujan. Secara keseluruhan, faktor utama yang berkontribusi terhadap kejadian banjir rob di Bengkulu adalah kecepatan angin yang tinggi, pasang purnama dengan elevasi di atas 2,0 m, serta curah hujan ekstrem yang terjadi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Seluruh penulis adalah kontributor utama. Artikel ini merupakan salah satu output dari kegiatan MBKM yang dilaksanakan di Pusat Riset Iklim dan Atmosfer, Gedung KST Prof. Samaun Samadiukun, BRIN, Bandung yang diselenggarakan Juli 2024 hingga Januari 2025. Diskusi secara daring difasilitasi oleh Laboratorium Hidro-Oseanografi, STAL. Penulis mengucapkan terima kasih kepada (BPBD) Provinsi Bengkulu, (BPS), serta (ECMWF), BMKG, dan BIG atas data yang digunakan, serta kepada semua pihak yang telah kontribusi dalam keberhasilan penelitian ini. Artikel ini merupakan bagian dari riset “Prediksi Cuaca Laut Ekstrem dan Daerah Tangkapan Ikan Berbasis Model Numerik dan Citra Satelit untuk Mendukung Sistem Pendukung Keputusan Sektor Kemaritiman (SEMAR)” Rumah Program OREI BRIN TA 2024.

DAFTAR PUSTAKA

- Ajr, E. Q., & Dwirani, F. (2019). Menentukan Stasiun Hujan Dan Curah Hujan Dengan Metode Polygon Thiessen Daerah Kabupaten Lebak. *Jurnal Lingkungan Dan Sumberdaya Alam*, 2(2), 139-146.
- Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG). (2022). Laporan Tahunan Perubahan Iklim dan Dampaknya terhadap Wilayah Pesisir. Bengkulu: BMKG.
- Chandra, H., & Suprpto, H. (2016). Sistem Informasi Intensitas Curah Hujan di Daerah Ciliwung Hulu. *Jurnal Informatika Dan Komputer*, 21(3), 45–52.
- Citra, F.W., Silaban, N., & Dihamri, D. (2022). Karakteristik Intensitas Curah Hujan Yang Terjadi Di Kota Bengkulu Pada 2016 – 2021. *Jurnal Georafflesia*, 7(2), 265–269.
- Djamaluddin, T., Susanti, R.D., Pranowo, W.S., Aditiya, A., Mariyam, A.S., Mareta, L. & Hasanuddin, A.P. (2024). Differences in Maximum Tides Responses of the North Coast and the South Coast of Java on the Effects of the Position of the Moon and the Sun. *Journal of Physics: Conference Series*, 2773(1), 1-5.

- Egaputra, A.A., Ismunarti, D.H. & Pranowo, W.S. (2022). Inventarisasi Kejadian Banjir Rob Kota Semarang Periode 2012–2020. *Indonesian Journal of Oceanography*, 4(2), 29-40 doi: 10.14710/ijoce.v4i2.13240
- Erlani, R., & Nugrahandika, W.H. (2019). Ketangguhan Kota Semarang dalam menghadapi Bencana Banjir Pasang Air Laut (Rob). *Journal of Regional and Rural Development Planning*, 3(1), 47–63.
- Gara, M.N.I. (2019). Analisis Karakteristik Periode Ulang Curah Hujan Dengan Metode Iwai Kadoya di Daerah Lokal Sumatera Barat dan Regional Sumatera. *Pillar of physics*, 12(2), 87-101.
- Guillory, A., & Giusti, M. (2021). ERA5: How to Calculate Wind Speed and Wind Direction from U and V Components the Wind. *ECMWF Documentation*, 18(4), 112–125.
- Hanifah, F., & Ningsih, N.S. 2018. Identifikasi Tinggi dan Jarak Genangan Daerah Rawan Bencana Rob di Wilayah Pantai Utara Jawa yang Disebabkan Gelombang Badai Pasang dan Variasi Antar Tahunan. *Jurnal Teknik Sipil*, 25(1), 81 – 86.
- Jamalludin, K.I.F., Alam, T.M. & Pranowo, W.S. 2016. Identifikasi Banjir Rob Periode 2013 – 2015 Di Kawasan Pantai Utara Jakarta. *Jurnal Chart Datum*, 2(2), 1–11.
- Liufandy, H., Sugianto, D.N., Pranowo, W.S., Setiyadi, J., & Rochaddi, B. (2022). Simulasi Numerik Dampak Badai George dan Jacob (2007) Terhadap Tinggi Gelombang Signifikan pada Laut Selatan Jawa Hingga Nusa Tenggara. *Jurnal Chart Datum*, 8(1), 15–22. doi: 10.37875/chart datum.v8i1.224
- Pranowo, W.S., Malik, K., Adrianto, D., & Kurniawan, A. (2024). Hydrodynamic simulation experiment of tidal pump in strait waters. *Global Journal of Environmental Science and Management*, 10(2), 245-261. doi: 10.22034/gjesm.2025.02.17
- Satriadi, A. (2017). Peramalan Tinggi dan Periode Gelombang Signifikan Di Perairan Dangkal (Studi Kasus Perairan Semarang). *Buletin Oseanografi Marina*, 6(1), 17 – 23.
- Setiawan, R. (2016). Analisis Hubungan Angin dan Pasang Surut di Pesisir Bengkulu. Master's thesis. Universitas Bengkulu,.
- Setiyono, H., Rifai, A., Satriadi, A., Ario, R., Pratikto, I., & Ridlo, A. (2024). Study Prone To Flooding And Rob (Tidal Flooding) Disasters On The Coast Of Semarang City, Central Java Based On An Assessment Of Ecological Conditions. *Journal Of Data Acquisition And Processing*, 39(1), 1358-1366.
- Siregar, S.N., Sari, L.P., Purba, N.P., Pranowo, W.S., & Syamsuddin, M.L. (2017). Pertukaran massa air di Laut Jawa terhadap periodisitas monsun dan Arlindo pada tahun 2015. *Depik 6* (1), 44-59. doi: 10.13170/depik.6.1.5523
- Tritama, I. B., W.S. Pranowo, & Impron. (2023). Identifikasi Kejadian Banjir Rob Wilayah Surabaya Tahun 2021-2022. *Jurnal Hidropilar*, 9(1), 11–20. doi: 10.37875/hidropilar.v9i1.274
- Umam, C., Pranowo, W.S., Azhari, F., Hendra, H., Setiyadi, J. (2024). Analysis of Influence of Cyclone Seroja on Wave Height and Tide in the Indian Ocean. *Omni-akuatika*, 20(1): 38-49. doi: 10.20884/1.oa.2024.20.1.1114
- Wicaksana, S., Sofian, I., Pranowo, W., Kuswardani, A.R.T.D., Saroso, Sukoco, N.B. (2015). Karakteristik Gelombang Signifikan Di Selat Karimata dan Laut Jawa Berdasarkan Rerata Angin 9 Tahunan (2005-2013). *Omni-akuatika*, 11(2), 33-40.
- Widada, S., Zainuri, M., Yulianto, G., Satriadi, A., Wijaya, Y.J., & Helmi, M. (2020). Mitigation of Floodwaters Inundation Due to Land Subsidence in the Coastal Area of Semarang City. *IOP Conference Series : Earth and Environmental Science*, 530(1), 1-5.
- Williams, J.J., Esteves, L.S., Lymbery, G.L., Plater, A., Souza, A.J. & Worsley. (2020). The Coastal Flooding by Extreme Events (CoFEE) Project. *Journal of Coastal Research*, 36(5), 1023-1035.
- World Meteorological Organization (WMO). (2017). Manual on Codes: Internasional Codes Volume 1 Part A. WMO, Geneva