Indonesian Journal of Oceanography
November 2026, Vol 8 No 4: 357 - 369
ISSN: 2714-8726

Dinamika Temporal Banjir Rob di Kota Semarang Berdasarkan Analisis Pasang Surut, SSHA, Angin, dan Curah Hujan

Faruq Khadami[1,2]*, Anita Sari[2], Muhammad Rais Abdillah[3], Iwan Pramesti Anwar[1], Azka Afta Tarissa Sinaga[2]

[1]Kelompok Keahlian/Keilmuan Oseanografi Terapan dan Lingkungan, Fakultas Ilmu dan Teknologi Kebumian, Institut Teknologi Bandung
[2]Program Studi Oseanografi Terapan dan Lingkungan, Fakultas Ilmu dan Teknologi Kebumian, Institut Teknologi Bandung
[3]Kelompok Keahlian/Keilmuan Sains Atmosfer, Fakultas Ilmu dan Teknologi Kebumian, Institut Teknologi Bandung
Jl. Ganesha 10, Kota Bandung, Jawa Barat, 40132 Indonesia
Email: *faruq@itb.ac.id

Abstrak

Kota Semarang, sebagai pusat ekonomi dan transportasi di pesisir utara Jawa Tengah, menghadapi tantangan banjir rob yang semakin meningkat akibat kombinasi kenaikan muka air laut dan penurunan muka tanah. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis karakteristik banjir rob di wilayah pesisir Semarang serta hubungannya dengan parameter oseanografi dan meteorologi, termasuk anomali tinggi muka air laut (*sea surface height anomaly*/SSHA), kecepatan angin, dan curah hujan. Namun, kontribusi relatif parameter oseanografi dan meteorologi terhadap variasi temporal banjir rob di Semarang masih belum dijelaskan secara kuantitatif. Data yang digunakan mencakup pengamatan pasang surut dari BMKG Maritim serta data reanalisis ERA5 dan CMEMS untuk periode Mei 2018–Desember 2022. Kejadian banjir rob diidentifikasi melalui penghilangan tren jangka panjang, penerapan low-pass filter 30 jam untuk memperoleh komponen non-pasang surut, dan penetapan ambang kejadian berdasarkan standar deviasi elevasi muka air. Hasil analisis menunjukkan bahwa variasi musiman SSHA memiliki pola yang sejalan dengan peningkatan frekuensi kejadian banjir rob, sedangkan kecepatan angin dan curah hujan dapat memperkuat intensitas kejadian pada kondisi tertentu. Curah hujan tidak menunjukkan peningkatan yang konsisten dalam komposit seluruh kejadian, tetapi dapat memperburuk genangan pada kejadian tertentu, terutama selama musim hujan. Selain itu, teridentifikasi tren kenaikan muka air laut relatif sekitar 90 mm/tahun, ambang kejadian rob yang relatif terhadap elevasi non-pasang surut ditetapkan sebesar 5,839 cm, dan puncak frekuensi kejadian pada Mei–Juni. Analisis lebih lanjut mengungkap bahwa SSHA dan kecepatan angin cenderung meningkat sejak tiga hari sebelum kejadian banjir rob dan terus meningkat hingga kejadian. Sementara itu, pengaruh curah hujan relatif minor berdasarkan rata-rata komposit seluruh kejadian. Temuan ini dapat menjadi dasar awal untuk pengembangan indikator pemantauan banjir rob berbasis SSHA dan kecepatan angin.

Kata kunci : Banjir Rob, Semarang, SSHA, Curah Hujan, Kecepatan Angin

Abstract

Tidal Flood Dynamics in Semarang City: An Analysis of Oceanographic and Meteorological Factors

Semarang City, as an economic and transportation hub on the northern coast of Central Java, faces increasing challenges from tidal flooding due to a combination of sea level rise and land subsidence. This study aims to analyze the characteristics of tidal flooding in the coastal area of Semarang and its relationship with oceanographic and meteorological parameters, including Sea Surface Height Anomaly (SSHA), wind speed, and precipitation. However, the relative contribution of oceanographic and meteorological parameters to the temporal variation of tidal flooding in Semarang has not yet been quantitatively explained. The data used in this study include tidal observations from BMKG Maritim and reanalysis data from ERA5 and CMEMS for the period of May 2018 to December 2022. Tidal flood events were identified by removing the long-term trend, applying a 30-hour low-pass filter to obtain the non-tidal component, and setting the event threshold based on the standard deviation of sea level elevation. The analysis results indicate that seasonal variations in SSHA showed a clear pattern with the frequency of tidal flooding events, while wind speed and precipitation may intensify events under specific conditions. Sea level rise showed a relative trend of approximately 90 mm/year over the study period, with the flood threshold relative to nontidal elevation set at 5.839 cm and peak tidal flood frequency occurring in May–June. Further analysis reveals that SSHA and wind speed tend to increase three days before a tidal flood event, reaching their peak during the event. Meanwhile, precipitation had a minor influence based on the composite average of all events, although it could exacerbate flooding during periods of higher rainfall, particularly in

https://ejournal2.undip.ac.id/index.php/ijoce
DOI: 10.14710/ijoce.v8i4.30195
Diterima/Received: 27-11-2025
Disetujui/Accepted: 19-08-2026

 ISSN: 2714-8726

the wet season. These findings could provide a basis for developing early warning indicators for tidal flooding based on SSHA and wind conditions.

Keywords: *Tidal Flooding; Semarang; SSHA; Precipitation; Wind Speed*

PENDAHULUAN

Banjir rob merupakan genangan air di wilayah pesisir akibat naiknya muka air laut hingga melampaui elevasi daratan (Egaputra *et al*., 2022). Fenomena ini umum dijumpai di kota-kota pesisir, termasuk di Indonesia, dan menjadi persoalan yang menonjol di Kota Semarang. Kejadian banjir rob di Semarang telah tercatat selama lebih dari tiga dekade terakhir (Ismanto *et al*., 2009). Wilayah pesisir utara Semarang memiliki karakteristik geomorfologi yang beragam, mulai dari perbukitan di bagian selatan hingga dataran pantai di bagian utara dengan rentang elevasi 0,75–348 mdpl. Rendahnya selisih elevasi antara kawasan pesisir dan muka laut rata-rata (mean sea level, MSL) menyebabkan wilayah ini sangat rentan terhadap genangan akibat pasang laut (Marfai & King, 2008; Andnur *et al*., 2022).

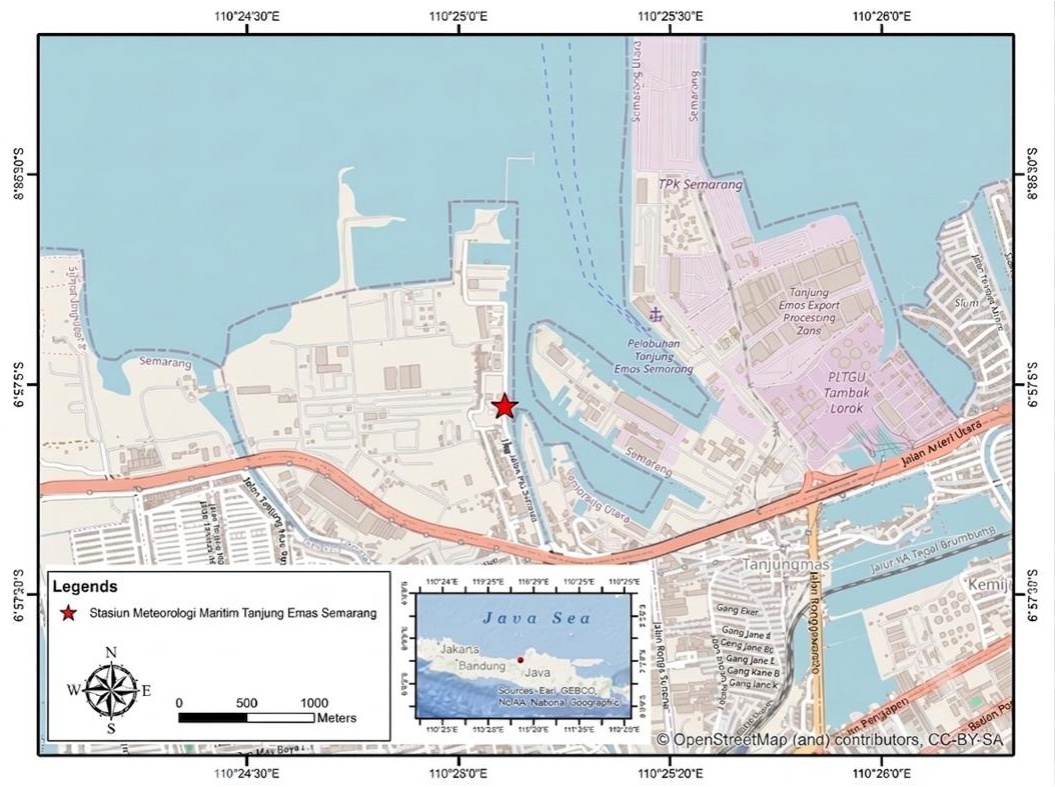
Banjir rob berdampak terhadap kondisi fisik, sosial, dan ekonomi masyarakat pesisir Semarang. Dampak yang ditimbulkan membentuk pola adaptasi masyarakat terhadap kerusakan perumahan, infrastruktur, dan fasilitas umum (Indahsari & Hidayatulloh, 2023; Ikhsyan *et al*., 2017). Secara fisik, banjir rob menyebabkan kerusakan infrastruktur, seperti jalan yang kerap tergenang, sistem drainase yang tidak berfungsi optimal, serta terbatasnya akses terhadap air bersih (Indahsari & Hidayatulloh, 2023). Banjir rob juga berkontribusi terhadap degradasi lingkungan dan ekosistem pesisir (Hamdani *et al*., 2021). Mengingat luasnya dampak tersebutbahwa di berbagai kota pesisir dunia juga terbukti mengganggu aktivitas ekonomi lokal (Hino *et al*., 2019), diperlukan strategi mitigasi dan adaptasi yang tepat. Namun, efektivitas strategi tersebut sangat bergantung pada pemahaman yang akurat mengenai faktor-faktor pendorong banjir rob, baik faktor latar jangka panjang maupun faktor pemicu jangka pendek seperti anomali tinggi muka laut (sea surface height anomaly, SSHA), kecepatan angin, dan curah hujan (Bevacqua *et al*., 2020; Thompson *et al*., 2021).

Berbagai penelitian terdahulu telah mengkaji banjir rob di Semarang. Sebagian besar studi menekankan peran kenaikan muka air laut dan penurunan muka tanah sebagai faktor utama yang meningkatkan kerentanan kawasan (Marfai & King, 2008; Bott *et al*., 2021; Hamdani *et al*., 2021). Meskipun demikian, mekanisme penyebab banjir rob masih belum sepenuhnya dipahami (Ismanto *et al*., 2009; Egaputra *et al*., 2022), dan akurasi penentuan wilayah terdampak masih perlu ditingkatkan. Salah satu keterbatasan studi terdahulu adalah belum dipertimbangkannya faktor hidro-meteorologi dan interaksi laut–atmosfer secara komprehensif. Superposisi antara banjir lokal, banjir kiriman, dan pasang laut sering kali memperparah genangan (Bevacqua *et al*., 2020), sementara fenomena interaksi laut–atmosfer seperti El Niño–Southern Oscillation (ENSO), Indian Ocean Dipole (IOD), dan Madden–Julian Oscillation (MJO) yang berpotensi memengaruhi tinggi muka laut di Indonesia masih jarang dikaitkan secara eksplisit dengan kejadian banjir rob di Semarang (Goodman *et al*., 2018; Yustiana *et al*., 2023).

Kesenjangan utama yang belum terjawab adalah pemahaman mengenai dinamika temporal—khususnya pola musiman—kejadian banjir rob serta keterkaitannya dengan parameter oseanografi dan meteorologi. Pengetahuan mengenai musiman banjir rob penting karena memungkinkan identifikasi periode rawan secara lebih dini, sehingga upaya pemantauan dan mitigasi dapat diarahkan pada waktu yang tepat. Secara fisis, parameter oseanografi seperti SSHA dapat menaikkan elevasi dasar muka laut sehingga memperbesar peluang genangan saat pasang, sedangkan parameter meteorologi seperti kecepatan angin dan curah hujan dapat memperkuat intensitas kejadian pada kondisi tertentu (Pugh & Woodworth, 2014; Taherkhani *et al*., 2020). Urgensi kajian ini diperkuat oleh kejadian banjir rob pada 24 Mei 2022, ketika muka air laut meningkat cukup tinggi (Rahman *et al*., 2023; Aini *et al*., 2026) dan kembali terjadi pada Mei dan Juni 2023 (Wijayanto & Marlina, 2024) tanpa disertai kejadian hidro-oseanografi ekstrem seperti badai atau curah hujan tinggi. Kasus tersebut mengindikasikan adanya mekanisme non-ekstrem berupa kombinasi faktor met-ocean yang belum terjelaskan, sekaligus menegaskan perlunya analisis keterkaitan temporal banjir rob dengan SSHA, angin, dan curah hujan secara lebih sistematis. Namun, kontribusi relatif parameter oseanografi dan meteorologi terhadap variasi temporal banjir rob di Semarang masih belum dijelaskan secara kuantitatif.

Kebaruan penelitian ini terletak pada integrasi data observasi pasang surut, data reanalisis meteorologi, dan data SSHA untuk mengkarakterisasi dinamika temporal banjir rob di Kota Semarang. Berbeda dengan studi terdahulu yang umumnya berfokus pada kenaikan muka air laut dan penurunan muka tanah, penelitian

 ISSN: 2714-8726



Gambar 1. Lokasi daerah pengambilan data pasang surut dari stasiun lapangan di Kota Semarang

ini secara eksplisit mengevaluasi pola musiman frekuensi dan intensitas banjir rob serta keterkaitannya dengan parameter oseanografi dan meteorologi melalui analisis komposit kondisi sebelum dan sesudah kejadian. Pendekatan ini diharapkan memberikan perspektif baru mengenai peran faktor pemicu jangka pendek yang selama ini belum banyak dikaji.

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk (1) mengidentifikasi kejadian banjir rob di Semarang berdasarkan komponen non-pasang surut dari data observasi pasang surut, (2) menganalisis pola temporal frekuensi dan intensitas kejadian, serta (3) mengevaluasi keterkaitan temporal kejadian tersebut dengan SSHA, kecepatan angin, dan curah hujan menggunakan kombinasi data observasi dan reanalisis. Hasil penelitian ini diharapkan dapat mendukung pengembangan indikator pemantauan banjir rob berbasis parameter oseanografi dan meteorologi serta memberi dasar informasi bagi mitigasi pesisir di tingkat lokal.

MATERI DAN METODE

Daerah Kajian

Kota Semarang merupakan ibu kota Provinsi Jawa Tengah yang terletak di pesisir utara Pulau Jawa. Kota ini memiliki peran strategis dalam perkembangan ekonomi dan infrastruktur Jawa Tengah, khususnya dalam sektor pelabuhan, jaringan transportasi darat (jalan raya dan jalur kereta api), serta transportasi udara. Semarang berfungsi sebagai simpul transportasi utama di wilayah ini. Secara geografis, Semarang memiliki karakteristik topografi yang unik karena terbagi menjadi dua wilayah utama, yaitu dataran rendah dan daerah perbukitan. Wilayah utara Semarang berbatasan langsung dengan Laut Jawa dan memiliki kemiringan lahan antara 0%–2%. Wilayah tengah memiliki kemiringan antara 2%–15%, sedangkan bagian selatan merupakan daerah perbukitan dengan kemiringan 15%–40%, bahkan di beberapa lokasi melebihi 40%. Penelitian ini difokuskan pada wilayah pesisir Kota Semarang, Jawa Tengah, Indonesia, yang terletak pada koordinat 6°50'–7°10' LS dan 109°50'–110°35' BT. Lokasi penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.

Data

Penelitian ini menggunakan lima jenis data untuk periode Mei 2018–Desember 2022, yaitu elevasi muka air per jam hasil pengamatan pasang surut BMKG Maritim di Stasiun Meteorologi Maritim Tanjung Emas Semarang (https://pasut.maritimsemarang.com/), curah hujan dan angin per jam dari reanalisis ERA5 ECMWF

 ISSN: 2714-8726

dengan resolusi spasial 0,25° × 0,25° (Hersbach *et al*., 2020) yang diakses melalui Copernicus Climate Data Store (https://cds.climate.copernicus.eu/), anomali tinggi muka laut (*sea surface height anomaly*/SSHA) harian dari Copernicus Marine Environment Monitoring Service (CMEMS) dengan resolusi spasial 0,083° × 0,083° (~9,2 km; https://marine.copernicus.eu/), serta data kejadian banjir rob dari laporan BPBD Kota Semarang, buletin cuaca dan iklim maritim BMKG, artikel ilmiah (Egaputra *et al*., 2022), dan media massa yang diseleksi dengan kata kunci "rob", "banjir pesisir", dan "banjir di wilayah Semarang bagian utara". Data elevasi muka air merupakan data observasi *in situ* yang menjadi acuan dalam penelitian ini dan telah melalui kontrol kualitas berupa penghilangan pencilan (*outlier*) serta pengisian gap untuk kekosongan data berdurasi kurang dari satu hari. Keandalan data reanalisis dan satelit didukung oleh hasil validasi sebelumnya: curah hujan ERA5 memiliki bias harian 0,07 mm dan RMSE 17,67 mm terhadap AWS Maritim Semarang (Iziyn *et al*., 2026) serta koefisien korelasi bulanan 0,2–0,9 terhadap penakar hujan di Sumatra Selatan (Suhadi *et al*., 2024); kecepatan angin ERA5 di atas laut memiliki bias −0,5 hingga 0,3 m/s dan RMSE di bawah 1,5 m/s pada kondisi non-ekstrem (Campos *et al*., 2022) serta kesesuaian RMS sekitar 20% lebih baik daripada ERA-Interim terhadap skaterometer ASCAT (Belmonte Rivas & Stoffelen, 2019); sedangkan SSHA CMEMS beresolusi 1/12° dari sistem GLORYS12 yang mengasimilasi data altimetri memiliki selisih RMS sekitar 5–6 cm terhadap observasi altimetri (Lellouche *et al*., 2021), dan anomali muka laut altimetri di Laut Jawa berkorelasi median sekitar 0,82 dengan RMSE 5–11 cm terhadap data stasiun pasang surut (Nugraheni *et al*., 2025). Data ERA5 dan CMEMS diekstraksi dengan merata-ratakan seluruh grid yang berada di area laut pada domain kajian (Gambar 1), kemudian diagregasi menjadi nilai rata-rata harian karena seluruh analisis dalam penelitian ini dilakukan pada skala variasi harian.

Metode

Penelitian ini menggunakan beberapa tahap analisis untuk mengidentifikasi dan memahami karakteristik banjir rob di Kota Semarang. Metode yang digunakan mencakup penghilangan tren kenaikan muka air laut, pemisahan elevasi non-pasang surut, penentuan definisi banjir rob, hingga analisis hubungan antara parameter meteorologi dan oseanografi (*met-ocean*) dengan elevasi non-pasang surut. Setiap tahap dirancang untuk mengungkap aspek-aspek kunci yang berkontribusi terhadap fenomena banjir rob di wilayah tersebut.

Penghilangan Tren Kenaikan Muka Air Laut

Kota Semarang menghadapi tantangan unik berupa kenaikan muka air laut dan penurunan muka tanah, yang secara signifikan memengaruhi analisis banjir rob. Untuk memastikan bahwa data yang digunakan tidak terdistorsi oleh tren jangka panjang ini, diterapkan metode Singular Spectrum Analysis (SSA) pada perangkat lunak MATLAB. Teknik ini memisahkan komponen tren periode panjang (LT) dari data elevasi muka air, yang mencerminkan perubahan jangka panjang seperti kenaikan muka air laut dan penurunan tanah. Setelah tren ini diidentifikasi, data yang digunakan untuk analisis selanjutnya diperoleh dengan mengurangkan komponen LT dari data asli. Hal ini memastikan bahwa variasi jangka pendek, yang lebih relevan untuk analisis banjir rob, dapat dipelajari secara lebih akurat. Penerapan SSA dalam penelitian ini bersifat deskriptif dengan tujuan utama mengekstraksi dan menghilangkan tren jangka panjang dari data elevasi muka air, sehingga analisis selanjutnya dapat difokuskan pada variasi jangka pendek yang relevan dengan kejadian banjir rob.

Pemisahan Elevasi Non-Pasang Surut

Setelah tren jangka panjang dihilangkan, langkah berikutnya adalah memisahkan komponen elevasi muka air yang tidak dipengaruhi oleh pasang surut. Untuk mencapai ini, digunakan *low-pass filter* dengan periode *cut-off* 30 jam. Filter ini dirancang untuk menyaring variasi muka air dengan periode lebih pendek dari 30 jam, sehingga hanya menyisakan komponen non-pasang surut. Komponen ini merupakan residual muka air yang dapat dipengaruhi oleh berbagai proses oseanografi dan meteorologi selain pasang surut, antara lain angin dan curah hujan yang dianalisis dalam penelitian ini, dan lebih relevan untuk analisis banjir rob.

Menentukan Definisi Banjir Rob

Salah satu tantangan dalam studi ini adalah kurangnya standar resmi di Kota Semarang mengenai batas minimum tinggi muka air yang dapat dikategorikan sebagai banjir rob. Untuk mengatasi hal ini, penelitian ini mengadopsi pendekatan berbasis statistik. Nilai standar deviasi dihitung dari data hasil *low-pass filter* 30 jam,

 ISSN: 2714-8726

dan batas tinggi muka air yang dianggap sebagai banjir rob ditetapkan berdasarkan nilai rata-rata ditambah dengan kelipatan tertentu dari σ (standar deviasi). Pendekatan ini memungkinkan identifikasi kejadian banjir rob berdasarkan distribusi statistik data elevasi muka air, sehingga memberikan dasar yang objektif dan dapat diulang untuk menentukan kapan suatu kejadian dapat diklasifikasikan sebagai banjir rob. Penggunaan low-pass filter dengan cut-off 30 jam ditujukan untuk menghilangkan variasi pasang surut harian dan setengah harian dari data elevasi muka air. Secara eksplisit, ambang kejadian dihitung menggunakan persamaan $E_ambang = \mu + k \cdot \sigma$, dengan μ dan σ masing-masing merupakan nilai rata-rata dan standar deviasi dari residual elevasi non-pasang surut. Penerapan persamaan tersebut menghasilkan nilai ambang sebesar 5,839 cm (Gambar 3b).

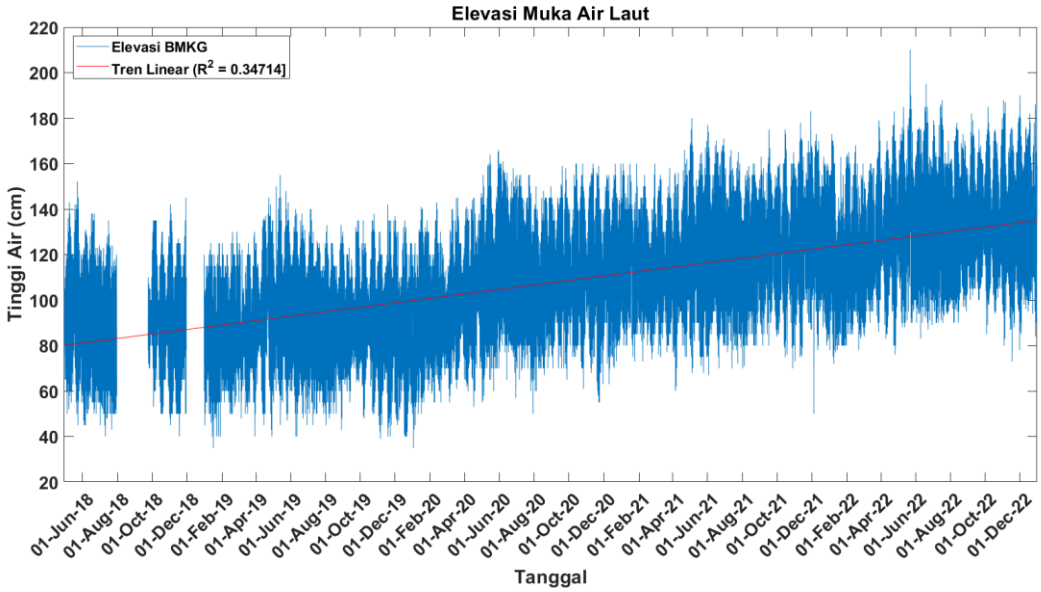
Analisis Hubungan Parameter Met-Ocean dengan Elevasi Non-Pasang Surut

Untuk memahami faktor-faktor yang memengaruhi kejadian banjir rob, penelitian ini menganalisis hubungan antara parameter meteorologi dan oseanografi (*met-ocean*) dengan elevasi non-pasang surut. Parameter yang dipelajari meliputi SSHA, kecepatan angin, dan curah hujan. Analisis dilakukan dengan membandingkan frekuensi dan intensitas banjir rob secara bulanan dengan variasi parameter *met-ocean* tersebut. Selain itu, diterapkan analisis komposit untuk mengidentifikasi pola keterkaitan antara waktu kejadian banjir rob dan variabilitas parameter *met-ocean*. Pendekatan ini membantu mengungkap bagaimana kondisi atmosfer dan oseanografi berkontribusi terhadap kenaikan muka air yang memicu banjir rob.

HASIL DAN PEMBAHASAN

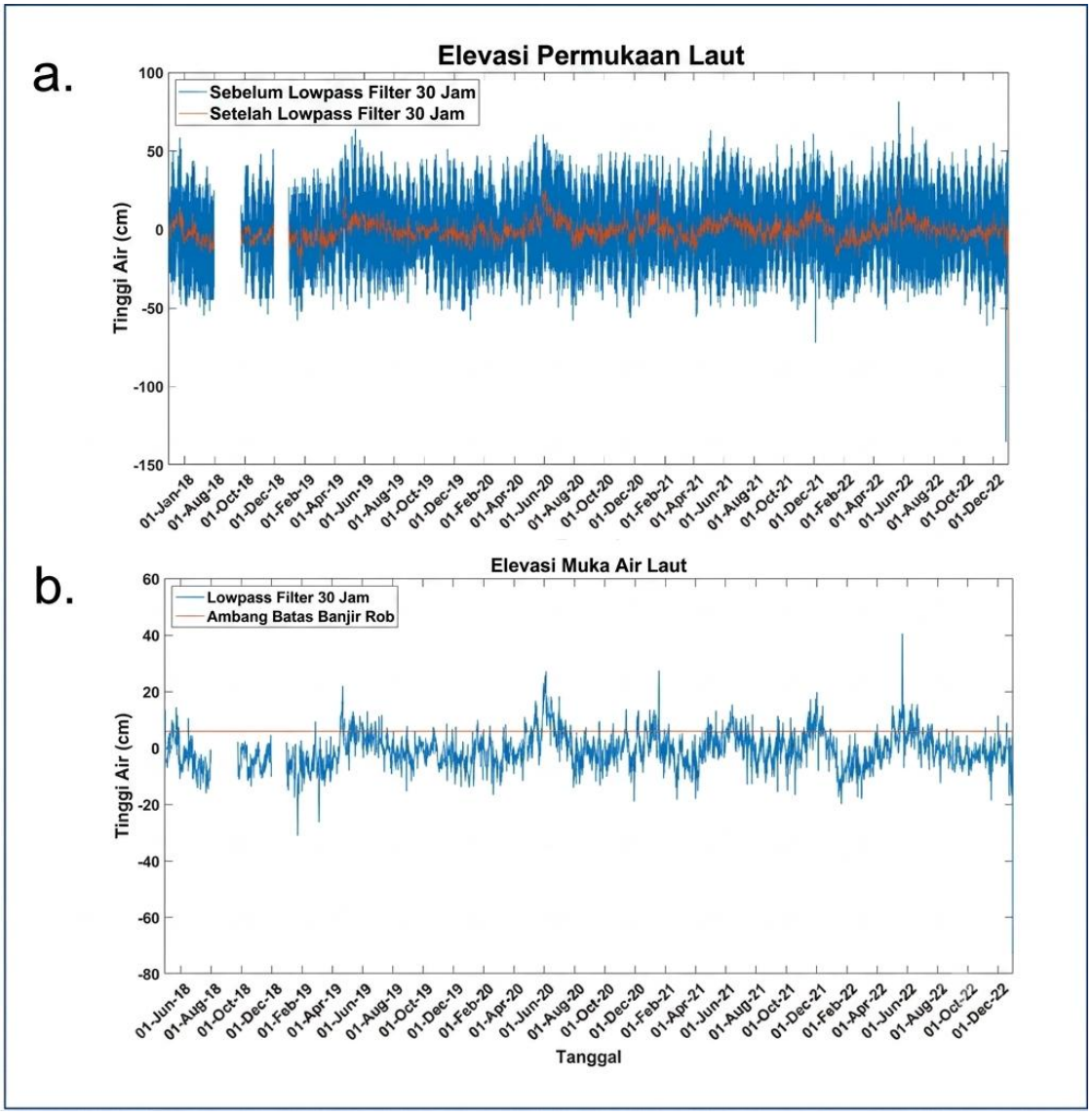
Identifikasi Banjir Rob Semarang

Penelitian ini mengidentifikasi tren kenaikan muka air laut relatif di lokasi pengamatan sebesar sekitar 90 mm/tahun (Gambar 2). Kenaikan ini dapat dikaitkan dengan dua faktor utama: pemanasan global dan penurunan muka tanah. Pemanasan global, yang menyebabkan ekspansi termal air laut dan pencairan es di kutub, berkontribusi terhadap kenaikan muka air laut secara global. Namun, di Kota Semarang, faktor lokal seperti penurunan muka tanah juga memainkan peran penting. Data dari penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa laju penurunan muka tanah di sekitar Pelabuhan Tanjung Emas mencapai 6,5 cm/tahun (Shalsabilla *et al.*, 2022). Analisis InSAR bahkan menunjukkan penurunan muka tanah yang stabil hingga sekitar 100 mm/tahun di Semarang, sementara kenaikan muka laut regional berdasarkan altimetri di perairan Semarang hanya sekitar 2,1 mm/tahun (Bott *et al*., 2021), sehingga tren relatif yang teridentifikasi kemungkinan besar didominasi oleh penurunan muka tanah. Kombinasi antara kenaikan muka air laut akibat pemanasan global dan penurunan muka tanah secara lokal ini memperparah dampak banjir rob di wilayah tersebut.



Gambar 1. Data pengukuran elevasi muka air Kota Semarang

 ISSN: 2714-8726



Gambar 2. (a) Elevasi muka air setelah dilakukan penghilangan tren (garis biru) dan kemudian dilakukan low-pass filter 30 jam, (b) penentuan ambang batas banjir (garis merah) pada data elevasi muka air hasil low-pass filter.

Dari Gambar 2 juga terlihat adanya fluktuasi tahunan dan antar-tahunan dalam tinggi muka air laut. Variasi ini mencerminkan pengaruh pola sirkulasi laut di Laut Jawa serta faktor oseanografi skala regional. Sebagai contoh, pada periode Agustus 2020–Mei 2021 dan Agustus 2021–Desember 2022, terjadi peningkatan muka air laut yang kemungkinan berkaitan dengan variabilitas iklim skala besar seperti fenomena La Niña. La Niña yang umumnya meningkatkan curah hujan dan mengubah pola arus laut di kawasan tropis dapat turut memengaruhi kenaikan muka air laut di stasiun pengukuran Kota Semarang (Yustiana *et al*., 2023; Hamdani *et al*., 2025; Nugraheni *et al*., 2025). Hal ini menunjukkan bahwa variabilitas iklim skala besar juga memengaruhi dinamika muka air laut di wilayah ini.

Untuk mengidentifikasi kejadian banjir rob, data elevasi muka air laut terlebih dahulu mengalami proses penghilangan tren (*detrending*). Langkah ini dilakukan untuk mengeliminasi efek kenaikan muka air laut jangka panjang yang disebabkan oleh pemanasan global dan penurunan muka tanah. Setelah tren jangka panjang dihilangkan, diterapkan *low-pass filter* dengan *cut-off* 30 jam untuk menghilangkan komponen pasang surut serta variasi berperiode pendek. Hasil pemrosesan ini ditunjukkan pada Gambar 3a, di mana terlihat bahwa variabilitas dengan periode kurang dari 30 jam telah tersaring, sementara variasi berperiode panjang,

 ISSN: 2714-8726

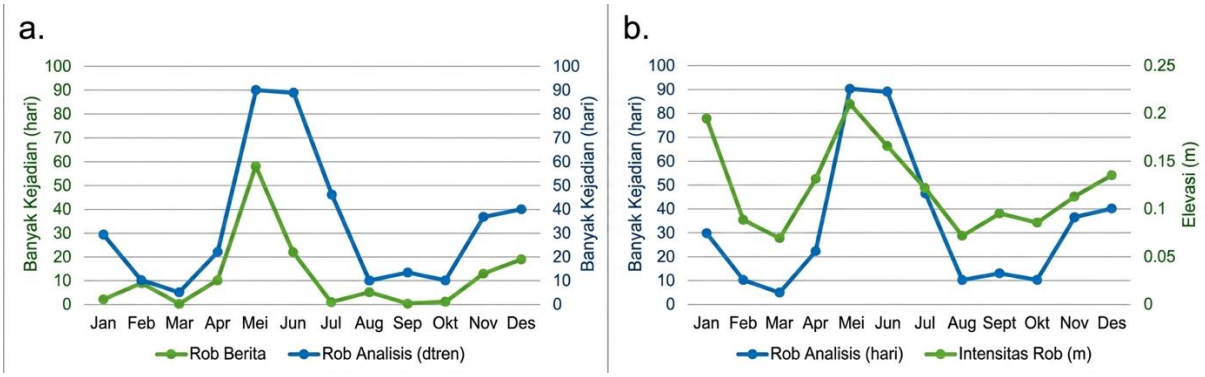
seperti musiman dan antar-tahunan, menjadi lebih jelas teramati. Proses ini memungkinkan fokus analisis pada komponen non-pasang surut yang lebih relevan untuk memahami fenomena banjir rob.

Berdasarkan data yang telah diproses, ambang anomali elevasi non-pasang surut sebagai penanda kejadian banjir rob ditentukan menggunakan standar deviasi elevasi muka air laut. Dalam penelitian ini, ambang anomali elevasi non-pasang surut yang ditetapkan adalah 5,839 cm (Gambar 3b). Artinya, jika elevasi muka air laut melampaui nilai ini, peristiwa tersebut dikategorikan sebagai banjir rob. Penetapan ambang batas ini memiliki peran krusial dalam mendefinisikan kejadian banjir secara objektif dan konsisten, terutama mengingat Kota Semarang belum memiliki standar resmi terkait tinggi muka air laut yang memicu banjir rob. Dengan pendekatan ini, identifikasi kejadian banjir rob dapat dilakukan berdasarkan distribusi statistik data elevasi muka air, sehingga memberikan dasar yang lebih ilmiah dan terukur. Perlu dicatat bahwa nilai ini merupakan ambang anomali elevasi non-pasang surut dan belum divalidasi terhadap data genangan di lapangan, sehingga tidak secara langsung menyatakan tinggi muka air aktual yang menggenangi daratan.

Identifikasi kejadian banjir rob berdasarkan ambang batas ini selanjutnya digunakan untuk menganalisis hubungan antara frekuensi dan intensitas banjir rob dengan parameter meteorologi dan oseanografi, seperti curah hujan, kecepatan angin, dan anomali tinggi muka laut (SSHA). Analisis ini bertujuan untuk mengungkap sejauh mana faktor-faktor atmosfer dan oseanografi berkontribusi terhadap terjadinya banjir rob.

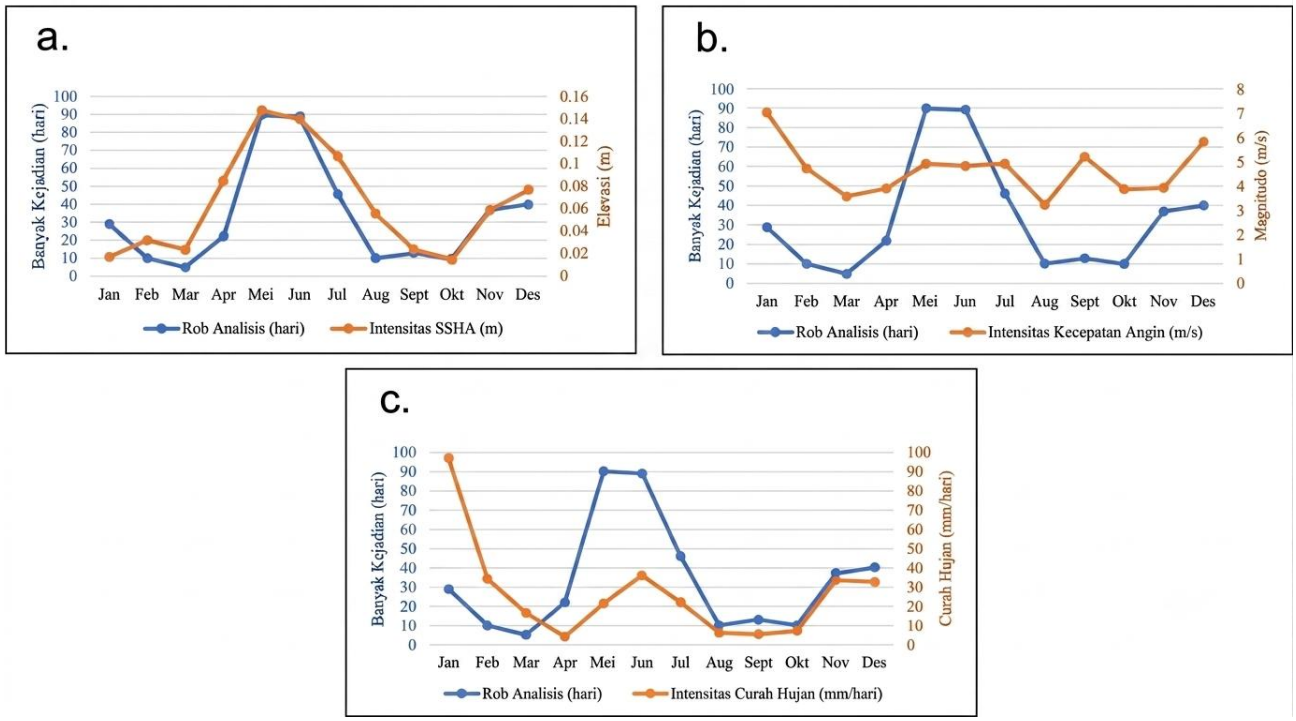
Hasil klasifikasi kejadian banjir rob berdasarkan standar deviasi kemudian dibandingkan dengan daftar kejadian yang diperoleh dari berbagai sumber, termasuk laporan berita dan catatan historis (Pratama, 2022; Egaputra *et al.*, 2022). Perbandingan ini menunjukkan bahwa perbedaan jumlah kejadian antara hasil analisis data elevasi muka air laut dan laporan berita serta berbagai sumber sekunder relatif kecil (Gambar 4a). Temuan ini mengindikasikan bahwa metode identifikasi berbasis data elevasi muka air laut mampu menangkap sebagian besar pola kejadian banjir rob. Secara temporal, baik berdasarkan hasil analisis data maupun laporan berita, frekuensi banjir rob cenderung memuncak pada bulan Mei dan Juni, dengan peningkatan tambahan pada bulan November dan Desember. Pola ini mengisyaratkan adanya keterkaitan yang erat antara banjir rob dengan faktor musiman serta variabilitas iklim.

Meskipun demikian, jumlah kejadian yang teridentifikasi melalui analisis data cenderung lebih tinggi dibandingkan dengan jumlah kejadian yang tercatat dalam sumber sekunder (Gambar 4a). Bulan Mei tercatat sebagai periode dengan jumlah hari kejadian banjir rob terbanyak, yakni 90 hari, diikuti oleh bulan Juni dengan 89 hari. Nilai tersebut merupakan jumlah hari kejadian banjir rob pada bulan yang bersangkutan yang terakumulasi sepanjang periode data (Mei 2018–Desember 2022). Selain itu, intensitas tertinggi juga terjadi pada bulan Mei, dengan elevasi muka air mencapai 0,2107 meter. Analisis lebih lanjut menunjukkan bahwa bulan Mei merupakan puncak kejadian banjir rob dengan intensitas yang relatif tinggi. Sebaliknya, bulan Juni memiliki jumlah kejadian yang hampir setara dengan Mei, tetapi dengan intensitas yang sedikit lebih rendah. Sementara itu, bulan Januari menunjukkan jumlah kejadian yang lebih sedikit, tetapi dengan intensitas yang cukup kuat (Gambar 4b).



Gambar 3. Perbandingan banyak kejadian banjir rob hasil analisis data dengan (a) hasil pengumpulan data sekunder dan (b) intensitas banjir rob hasil analisis data.

 ISSN: 2714-8726



Gambar 4. Perbandingan banyak kejadian banjir rob dengan (a) tinggi sea surface height anomaly (SSHA) (b) magnitudo kecepatan angin, (c) intensitas curah hujan

Untuk memahami faktor-faktor yang memengaruhi kejadian banjir rob setiap bulan, dilakukan analisis hubungan antara frekuensi dan intensitas banjir rob dengan parameter meteorologi dan oseanografi (*met-ocean*), seperti anomali tinggi muka laut (*Sea Surface Height Anomaly*/SSHA), kecepatan angin, dan curah hujan. Analisis ini bertujuan untuk mengidentifikasi penyebab utama tingginya kejadian banjir rob pada periode tertentu. Misalnya, peningkatan curah hujan selama musim hujan, perubahan pola angin, atau pengaruh fenomena iklim seperti La Niña dapat berkontribusi terhadap kenaikan muka air laut dan meningkatnya kejadian banjir rob. Pemahaman terhadap hubungan ini diharapkan dapat menjadi dasar bagi perencanaan mitigasi dan adaptasi di Kota Semarang, sehingga risiko dan dampak banjir rob dapat diminimalkan secara lebih efektif di masa mendatang.

Hubungan antara Jumlah Kejadian Banjir Rob dan Faktor *Met-Ocean*

SSHA digunakan untuk mengukur deviasi ketinggian permukaan laut dari nilai rata-ratanya di suatu wilayah. Grafik perbandingan antara kejadian banjir rob dan nilai SSHA ditunjukkan pada Gambar 5a. Nilai SSHA yang positif menunjukkan bahwa ketinggian permukaan laut lebih tinggi dari rata-rata. Hasil analisis menunjukkan adanya pola musiman yang jelas, di mana nilai SSHA mencapai puncaknya pada bulan Mei dan Juni, konsisten dengan puncak anomali tinggi muka laut di Laut Jawa pada bulan Mei yang dilaporkan oleh Anwar *et al*. (2024). Pola serupa juga terlihat pada jumlah kejadian banjir rob, yang mencapai puncaknya pada bulan Juni. Hal ini mengindikasikan bahwa pola kejadian banjir rob menunjukkan kesesuaian temporal dengan variasi SSHA. Perlu ditekankan bahwa keterkaitan ini ditelaah berdasarkan pola hasil akumulasi bulanan yang hanya terdiri atas dua belas titik data, sehingga tidak dilakukan uji statistik kuantitatif. Dengan demikian, keterkaitan yang dimaksud bersifat indikatif berdasarkan kesesuaian pola temporal.

Selain itu, kecepatan angin merupakan salah satu parameter *met-ocean* yang dapat memengaruhi kenaikan muka air laut melalui mekanisme tertentu (Anwar *et al.*, 2024). Grafik perbandingan antara kejadian banjir rob dan magnitudo kecepatan angin ditunjukkan pada Gambar 5b. Dari grafik tersebut, terlihat bahwa magnitudo kecepatan angin tertinggi terjadi pada bulan Januari dengan nilai 7,03 m/s (kategori hembusan angin sedang) dan bulan Desember dengan nilai 5,81 m/s (kategori hembusan angin sedang). Sementara itu, magnitudo kecepatan angin terendah terjadi pada bulan Agustus dengan nilai 3,24 m/s (kategori hembusan

 ISSN: 2714-8726

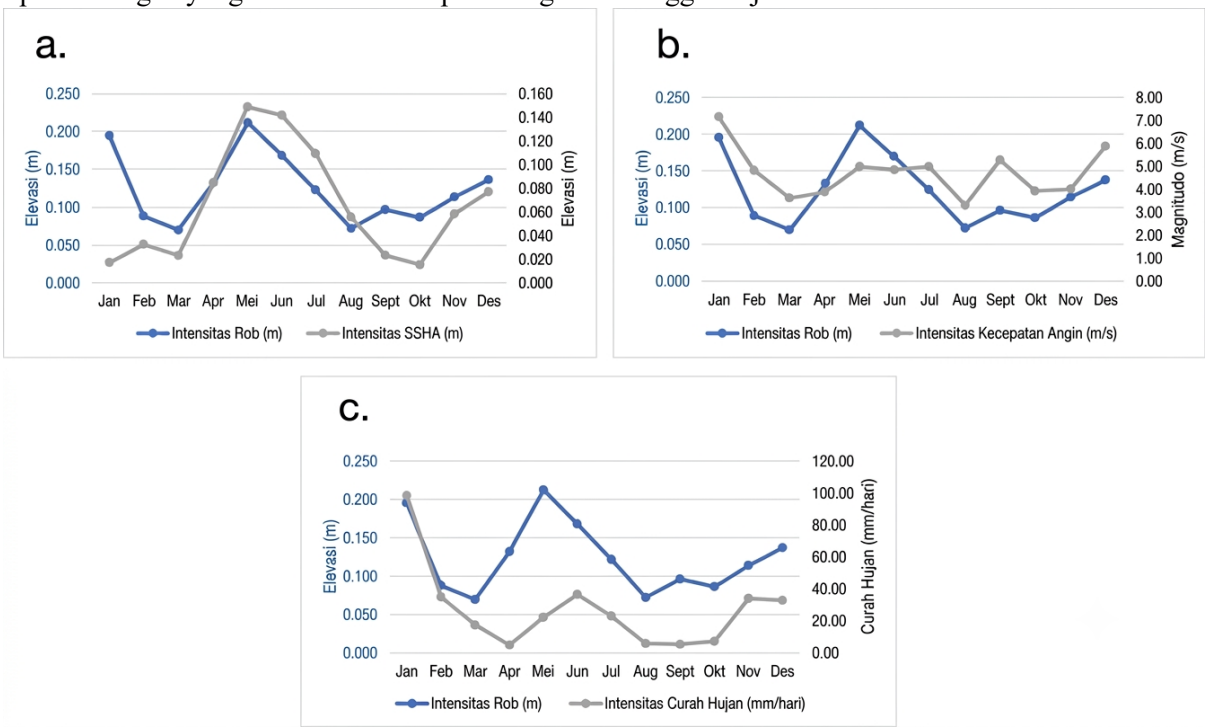
angin ringan) dan bulan Maret dengan nilai 3,57 m/s (kategori hembusan angin pelan). Berdasarkan analisis data bulanan, tidak ditemukan hubungan yang jelas antara jumlah kejadian banjir rob dengan besaran kecepatan angin.

Intensitas curah hujan dihitung berdasarkan curah hujan maksimum selama kejadian banjir rob dan dirata-ratakan per bulan. Grafik perbandingan antara kejadian banjir rob dan intensitas curah hujan selama periode kajian ditunjukkan pada Gambar 5c. Curah hujan maksimum umumnya terjadi pada bulan Desember dan Januari (Marfai & King, 2008). Kondisi ini dapat menyebabkan banjir dan genangan, terutama di daerah rendah dan pesisir. Curah hujan yang tinggi juga dapat memicu meluapnya air sungai, danau, dan drainase, sehingga meningkatkan risiko banjir. Hasil analisis menunjukkan bahwa peningkatan curah hujan menunjukkan pola yang sejalan dengan peningkatan frekuensi kejadian banjir rob, terutama pada periode November hingga Februari. Dengan demikian, curah hujan dapat berperan dalam memperkuat kejadian pada musim atau kejadian tertentu, tetapi pengaruhnya relatif minor ketika ditinjau dari rata-rata komposit seluruh kejadian banjir rob.

Hubungan antara Tinggi Banjir Rob dan Faktor *Met-Ocean*

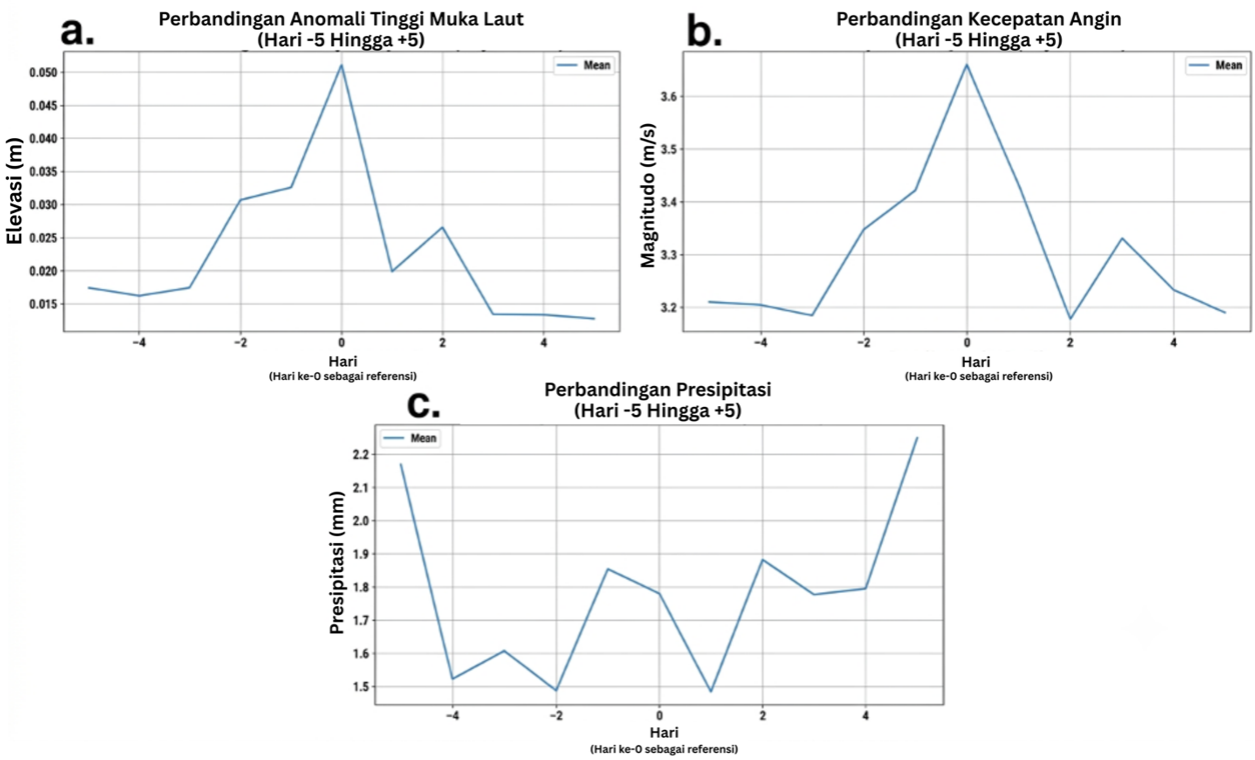
Untuk memahami hubungan antara tinggi banjir rob dan faktor *met-ocean*, dilakukan analisis perbandingan antara rata-rata ketinggian banjir rob pada bulan yang sama dengan intensitas kecepatan angin, SSHA, dan curah hujan. Hasil analisis menunjukkan bahwa puncak banjir rob terjadi pada bulan Mei dengan nilai 0,210 m, yang bersamaan dengan puncak SSHA sebesar 0,147 m (Gambar 6a). Peningkatan muka air laut akibat SSHA yang tinggi tampak berkontribusi terhadap peningkatan tinggi banjir rob. Namun, hubungan ini tidak selalu konsisten sepanjang tahun. Pada bulan Januari, misalnya, meskipun SSHA relatif tinggi, banjir rob tidak mencapai intensitas yang diharapkan. Hal ini mengindikasikan adanya faktor lain yang turut berpengaruh, seperti kecepatan angin dan curah hujan.

Kecepatan angin juga dianalisis sebagai faktor yang berpotensi memengaruhi tinggi banjir rob (Gambar 6b). Data menunjukkan bahwa kecepatan angin tertinggi terjadi pada bulan Januari sebelum menurun pada bulan-bulan berikutnya. Peningkatan kecepatan angin juga teramati pada Mei hingga Juli, meskipun tidak setinggi bulan Januari. Secara teoritis, angin dapat meningkatkan tinggi muka air laut melalui mekanisme *storm surge* atau gelombang tinggi (Ningsih *et al.*, 2011). Namun, hasil analisis menunjukkan bahwa tidak terdapat hubungan yang kuat antara kecepatan angin dan tinggi banjir rob secara bulanan.



Gambar 5. Perbandingan intensitas banjir rob dengan (a) tinggi sea surface height anomaly (SSHA) (b) magnitudo kecepatan angin, (c) intensitas curah hujan

 ISSN: 2714-8726



Gambar 6. Komposit analisis (a) sea surface height anomaly (SSHA), (b) magnitudo kecepatan angin, (c) presipitasi pada saat kejadian banjir rob.

Selain itu, curah hujan memiliki peran dalam memperburuk kondisi banjir rob, terutama pada bulan-bulan musim hujan seperti November hingga Februari (Gambar 6c). Analisis menunjukkan bahwa puncak banjir rob pada bulan Januari, dengan intensitas 0,192 m, tampak berasosiasi dengan curah hujan tertinggi sebesar 96,95 mm/hari. Meskipun intensitas curah hujan lebih rendah pada musim kemarau, hujan tetap terjadi dan dapat berkontribusi terhadap peningkatan tinggi banjir rob, terutama ketika dikombinasikan dengan muka air laut yang sudah tinggi akibat SSHA. Namun demikian, satu contoh bulan belum cukup untuk menyimpulkan peran curah hujan secara umum, sehingga temuan ini lebih tepat dinyatakan sebagai indikasi bahwa curah hujan dapat turut memengaruhi tinggi banjir rob pada kejadian tertentu.

Analisis *lag composite* terhadap SSHA, kecepatan angin, dan curah hujan dilakukan untuk memahami pola perubahan selama lima hari sebelum hingga lima hari setelah peristiwa banjir rob. Pada SSHA (Gambar 7a), rata-rata komposit menunjukkan kecenderungan peningkatan muka laut yang mulai tampak sekitar tiga hari sebelum kejadian, terus berlanjut hingga mencapai puncaknya pada hari kejadian, lalu menurun kembali dalam beberapa hari berikutnya. Pola ini mengindikasikan adanya keterkaitan temporal antara peningkatan SSHA dan kejadian banjir rob, di mana akumulasi kenaikan muka air laut kemungkinan turut memperburuk kondisi banjir di wilayah terdampak. Dalam analisis komposit ini, hari ke-0 didefinisikan sebagai puncak kejadian banjir rob (peak event), kemudian data diambil pada rentang lima hari sebelum hingga lima hari setelah hari kejadian tersebut.

Sementara itu, kecepatan angin juga menunjukkan pola fluktuasi yang sama (Gambar 7b). Peningkatan kecepatan angin mulai terdeteksi sekitar tiga hari sebelum banjir rob, mencapai nilai maksimum pada hari kejadian, lalu mengalami penurunan secara bertahap hingga dua hari setelahnya. Fenomena ini menunjukkan bahwa perubahan angin dapat berkontribusi terhadap kondisi perairan dan potensi peningkatan tinggi muka air laut melalui mekanisme seperti *storm surge* atau peningkatan gelombang. Hasil analisis ini menunjukkan bahwa meskipun amplitudo angin tidak menunjukkan hubungan yang jelas dalam data rata-rata bulanan, pola komposit berdasarkan kejadian banjir rob memperlihatkan adanya keterkaitan yang lebih erat.

 ISSN: 2714-8726

Curah hujan juga dianalisis sebagai salah satu faktor yang berpotensi memengaruhi banjir rob (Gambar 7c). Tidak seperti SSHA dan kecepatan angin yang menunjukkan pola peningkatan menjelang kejadian, curah hujan cenderung stabil sepanjang periode pengamatan, dengan rata-rata berkisar antara 1,5 hingga 2,2 mm/hari. Tidak adanya peningkatan signifikan sebelum maupun setelah banjir rob menunjukkan bahwa curah hujan bukan faktor utama dalam peristiwa ini. Meskipun curah hujan dapat memengaruhi kondisi hidrologi secara umum, dalam konteks banjir rob, pengaruhnya tampak lebih kecil dibandingkan dengan faktor oseanografi, seperti SSHA dan kemungkinan efek angin. Namun, hasil ini merupakan rata-rata untuk seluruh kejadian rob. Masih terdapat kemungkinan bahwa sebagian kejadian dipengaruhi oleh hujan, tetapi polanya tidak tampak dalam *lag composite* karena banyak kasus lain yang tidak dipengaruhi hujan. Secara mekanistik, keterkaitan tersebut dapat dijelaskan melalui beberapa proses yang mungkin terjadi: peningkatan SSHA menaikkan elevasi dasar muka laut sehingga memperbesar peluang genangan saat pasang; angin dengan arah tertentu dapat mendorong massa air ke pesisir dan meningkatkan setup muka air; sedangkan curah hujan dapat memperburuk genangan ketika sistem drainase tidak mampu membuang air akibat muka laut yang sudah tinggi. Mekanisme-mekanisme tersebut dikemukakan sebagai penjelasan yang mungkin karena belum diuji secara langsung dalam penelitian ini.

Keterbatasan Penelitian

Penelitian ini memiliki sejumlah keterbatasan yang perlu diperhatikan dalam menafsirkan hasil. Pertama, keterkaitan antara parameter met-ocean dan kejadian banjir rob ditelaah berdasarkan pola akumulasi bulanan dengan jumlah titik data yang terbatas, sehingga belum dilakukan uji statistik kuantitatif dan keterkaitan yang ditemukan bersifat indikatif. Kedua, ambang yang digunakan merupakan ambang anomali elevasi non-pasang surut yang belum divalidasi terhadap data genangan di lapangan, sehingga tidak secara langsung merepresentasikan tinggi muka air aktual yang menggenangi daratan. Ketiga, data reanalisis ERA5 dan SSHA memiliki resolusi spasial dan temporal yang relatif kasar dibandingkan skala lokal banjir rob, sementara data kejadian dari sumber sekunder berpotensi mengandung bias pelaporan. Keempat, fenomena interaksi laut–atmosfer skala besar seperti ENSO, IOD, dan MJO belum dianalisis secara eksplisit dalam penelitian ini (Sprintall *et al*., 2014). Keterbatasan-keterbatasan tersebut membuka peluang bagi penelitian lanjutan, antara lain melalui penerapan uji statistik formal, validasi lapangan terhadap ambang kejadian, serta integrasi indeks iklim untuk memperkuat pemahaman mekanisme banjir rob.

KESIMPULAN

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa muka air laut di Kota Semarang mengalami tren kenaikan relatif sebesar sekitar 90 mm/tahun di lokasi pengamatan selama periode kajian. Kenaikan ini, yang diperparah oleh penurunan muka tanah, berkontribusi terhadap peningkatan kejadian banjir rob. Identifikasi kejadian menggunakan ambang batas standar deviasi pada residual elevasi non-pasang surut menunjukkan pola temporal yang sesuai dengan catatan historis, dengan puncak banjir rob terjadi pada Mei dan Juni serta peningkatan tambahan pada November dan Desember.

Lebih lanjut, hubungan antara faktor oseanografi dan meteorologi dengan kejadian banjir rob menunjukkan bahwa pola temporal frekuensi kejadian menunjukkan kecenderungan yang sejalan dengan variasi anomali tinggi muka laut (SSHA), sedangkan kecepatan angin dan curah hujan dapat berasosiasi dengan intensitas kejadian pada kondisi tertentu. Peningkatan SSHA pada Mei bertepatan dengan puncak kejadian banjir rob, sementara curah hujan tinggi selama musim hujan dapat memperburuk dampaknya pada kejadian tertentu. Analisis komposit mengungkapkan bahwa kenaikan SSHA dan kecepatan angin mulai terjadi beberapa hari sebelum banjir rob, sedangkan curah hujan relatif minor dalam rata-rata komposit seluruh kejadian meskipun masih dapat berperan pada kejadian dengan hujan ekstrem.

Dengan demikian, penelitian ini menegaskan bahwa pemantauan berkelanjutan terhadap faktor oseanografi dan meteorologi sangat penting dalam upaya mitigasi banjir rob di Kota Semarang. SSHA dan kecepatan angin berpotensi dimanfaatkan sebagai indikator pemantauan awal, sedangkan curah hujan perlu dipertimbangkan terutama untuk memperkirakan risiko genangan pada musim hujan. Pengembangan sistem peringatan dini berbasis indikator tersebut masih memerlukan pengujian dan validasi lebih lanjut, karena analisis ini bersifat observasional dan komposit serta belum mencakup pemodelan prediktif.

 ISSN: 2714-8726

DAFTAR PUSTAKA

Aini, E. W. N., Rochaddi, B., & Suryono, C. A. 2026. Pola Antartahunan Muka Air Laut Pasang Bulan Mei (2021–2025) dan Kaitannya dengan Banjir Rob di Tanjung Mas, Kota Semarang. *Jurnal Kelautan Tropis*, 29(3):409–416. https://doi.org/10.14710/jkt.v29i3.34884

Andnur, M. O., Widada, S., & Suryo, A. A. D. 2022. Analisis Kenaikan Muka Air Laut dan Penurunan Muka Tanah untuk Perencanaan Tinggi Lantai Bangunan di Pesisir Utara Kota Semarang. *Indonesian Journal of Oceanography*, 4(2):56–60. https://doi.org/10.14710/ijoce.v4i2.13525

Anwar, I. P., Setiawan, A., Herho, S. H. S., Atmojo, A. T., & Khadami, F. 2024. Analisis Parameter Laut-Atmosfer terhadap Anomali Tinggi Muka Air di Laut Jawa. *Indonesian Journal of Oceanography*, 6(4):306-315. https://doi.org/10.14710/potensi.%Y.24645

Belmonte Rivas, M., & Stoffelen, A. 2019. Characterizing ERA-Interim and ERA5 surface wind biases using ASCAT. *Ocean Science*, 15(3):831–852. https://doi.org/10.5194/os-15-831-2019

Bevacqua, E., Vousdoukas, M. I., Zappa, G., Hodges, K., Shepherd, T. G., Maraun, D., Mentaschi, L., & Feyen, L. 2020. More meteorological events that drive compound coastal flooding are projected under climate change. *Communications Earth and Environment*, 1(1):47. https://doi.org/10.1038/s43247-020-00044-z

Bott, L.-M., Schöne, T., Illigner, J., Haghshenas Haghighi, M., Gisevius, K., & Braun, B. 2021. Land subsidence in Jakarta and Semarang Bay – The relationship between physical processes, risk perception, and household adaptation. *Ocean & Coastal Management*, 211:105775. https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2021.105775

Campos, R. M., Gramcianinov, C. B., de Camargo, R., & da Silva Dias, P. L. 2022. Assessment and calibration of ERA5 severe winds in the Atlantic Ocean using satellite data. *Remote Sensing*, 14(19):4918. https://doi.org/10.3390/rs14194918

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. https://doi.org/10.14710/ijoce.v4i2.13240

Goodman, A. C., Thorne, K. M., Buffington, K. J., Freeman, C. M., & Janousek, C. N. 2018. El Niño Increases High-Tide Flooding in Tidal Wetlands Along the U.S. Pacific Coast. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*, 123(10):3162–3177. https://doi.org/10.1029/2018JG004677

Hamdani, R. S., Hadi, S. P., & Rudiarto, I. 2021. Progress or regress? A systematic review on two decades of monitoring and addressing land subsidence hazards in Semarang City. *Sustainability*, 13(24):13755. https://doi.org/10.3390/su132413755

Hamdani, Y. M. S., Rosalia, A. A., & Suaydhi. 2025. Analisis Anomali Kenaikan Muka Air Laut Perairan Selatan Utara Jawa Tahun 1993–2022. *Journal of Marine Research*, 14(3):536–547. https://doi.org/10.14710/jmr.v14i3.49027

Hersbach, H., Bell, B., Berrisford, P., Hirahara, S., Horányi, A., Muñoz-Sabater, J., Nicolas, J., Peubey, C., Radu, R., Schepers, D., Simmons, A., Soci, C., Abdalla, S., Abellan, X., Balsamo, G., Bechtold, P., Biavati, G., Bidlot, J., Bonavita, M., De Chiara, G., Dahlgren, P., Dee, D., Diamantakis, M., Dragani, R., Flemming, J., Forbes, R., Fuentes, M., Geer, A., Haimberger, L., Healy, S., Hogan, R.J., Hólm, E., Janisková, M., Keeley, S., Laloyaux, P., Lopez, P., Lupu, C., Radnoti, G., de Rosnay, P., Rozum, I., Vamborg, F., Villaume, S. & Thépaut, J.-N. 2020. The ERA5 global reanalysis. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 146(730): 1999–2049. https://doi.org/10.1002/qj.3803

Hino, M., Belanger, S. T., Field, C. B., Davies, A. R., & Mach, K. J. 2019. High-tide flooding disrupts local economic activity. *Science Advances*, 5(2): eaau2736. https://doi.org/10.1126/sciadv.aau2736

Indahsari, S. A., & Hidayatulloh, A. 2023. Dampak Bencana Banjir Rob dan Adaptasi Masyarakat Terhadapnya di Kabupaten Semarang, *JEBT: Jurnal Energi Baru & Terbarukan*, 4(3): 202–208. https://doi.org/10.14710/jebt.2023.18845

Ikhsyan, N., Muryani, C., & Rintayati, P. 2017. Analisis Sebaran, Dampak dan Adaptasi Masyarakat Terhadap Banjir Rob di Kecamatan Semarang Timur dan Kecamatan Gayamsari Kota Semarang, *Jurnal GeoEco*, 3(2): 145–156. https://jurnal.uns.ac.id/GeoEco/article/view/14310

Ismanto, A., Wirasatriya, A., Helmi, M., Hartoko, A., & Prayogi, P. 2009. Model Sebaran Penurunan Tanah di Wilayah Pesisir Semarang. *Ilmu Kelautan: Indonesian Journal of Marine Sciences*, 14(4):189-196. https://doi.org/10.14710/ik.ijms.14.4.189-196

 ISSN: 2714-8726

Iziyn, A. F., Wirasatriya, A., Indrayanti, E., & Prasetyo, E. 2026. Akurasi Data Curah Hujan dari Radar Cuaca, Satelit dan Reanalisis di Pesisir Utara Jawa Tengah. *Indonesian Journal of Oceanography*, 8(2):192–203. https://doi.org/10.14710/ijoce.v8i2.31840

Lellouche, J.-M., Greiner, E., Bourdallé-Badie, R., Garric, G., Melet, A., Drévillon, M., Bricaud, C., Hamon, M., Le Galloudec, O., Regnier, C., Candela, T., Testut, C.-E., Gasparin, F., Ruggiero, G., Benkiran, M., Drillet, Y., Le Traon, P.-Y. 2021. The Copernicus Global 1/12° Oceanic and Sea Ice GLORYS12 Reanalysis. *Frontiers in Earth Science*, 9: 698876. https://doi.org/10.3389/feart.2021.698876

Marfai, M. A., & King, L. 2008. Tidal inundation mapping under enhanced land subsidence in Semarang, Central Java Indonesia. *Natural Hazards*, 44(1): 93–109. https://doi.org/10.1007/s11069-007-9144-z

Ningsih, N. S., Suryo, W., & Anugrah, S. D. 2011. Study on characteristics of residual water level in Jakarta, Semarang, and Surabaya waters–Indonesia and its relation to storm events in November 2007. *Int. J. Basic Appl. Sci*, 11(5): 19-25.

Nugraheni, I. R., Lestari, T. A., Kristianto, A., Avrionesti, A., Rejeki, H. A., & Wijaya, Y. J. 2025. Sea-level variability in the Java Sea linked to monsoon forcing and climate teleconnections (2009–2024). *Indonesian Physical Review*, 8(3):790–803. https://doi.org/10.29303/ipr.v8i3.571

Pratama, A. S. P. 2022. Pengembangan Penggunaan Data Tinggi Muka Laut Rata-Rata Dan Curah Hujan Sebagai Indeks Prediktif Kejadian Banjir Rob Di Kota Semarang, Jawa Tengah, Indonesia. *Tesis Program Magister*, Institut Teknologi Bandung.

Pugh, D., & Woodworth, P. 2014. Sea-level science: understanding tides, surges, tsunamis and mean sea-level changes. Cambridge university press. https://doi.org/10.1017/CBO9781139235778

Rahman, A. N., Kurniadin, N., Wumu, R., & Suryalfihra, S. I. 2023. Identifikasi Luasan Banjir Rob di Kota Semarang Pada Tanggal 24 Mei 2022 Menggunakan Citra Landsat. *Journal of Geomatics Engineering, Technology, and Science*, 1(2): 50-53. https://doi.org/10.51967/gets.v1i2.16

Shalsabilla, A., Setiyono, H., Sugianto, D. N., Ismunarti, D. H., & Marwoto, J. 2022. Kajian fluktuasi muka air laut sebagai dampak dari perubahan iklim di perairan Semarang. *Indonesian Journal of Oceanography*, 4(1): 69-76. https://doi.org/10.14710/ijoce.v4i1.13183

Sprintall, J., Gordon, A. L., Koch-Larrouy, A., Lee, T., Potemra, J. T., Pujiana, K. and Wijffels, S. E. 2014. The Indonesian seas and their role in the coupled ocean–climate system. *Nature Geoscience*, *7*(7): 487-492. https://doi.org/10.1038/ngeo2188

Suhadi, S., Putri, J. K., Iskandar, I., & Supri, S. 2024. Evaluation of daily satellite and reanalysis of rainfall data over South Sumatra region. *Geomatika*, 30(2): 57–66. https://doi.org/10.24895/gm.2024.30.2.57-66

Taherkhani, M., Vitousek, S., Barnard, P. L., Frazer, N., Anderson, T. R., & Fletcher, C. H. 2020. Sea-level rise exponentially increases coastal flood frequency. *Scientific Reports*, 10:6466. https://doi.org/10.1038/s41598-020-62188-4

Thompson, P. R., Widlansky, M. J., Hamlington, B. D., Merrifield, M. A., Marra, J. J., Mitchum, G. T., & Sweet, W. 2021. Rapid increases and extreme months in projections of United States high-tide flooding. *Nature Climate Change*, 11(7): 584–590. https://doi.org/10.1038/s41558-021-01077-8

Wijayanto, R. S., & Marlina, N. 2024. Evaluasi Kebijakan Penanganan Rob di Semarang Utara Tahun 2022–2023. *Journal of Politic and Government Studies*, 13(4). https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/jpgs/article/view/47309

Yustiana, M., Zainuri, M., Sugianto, D. N., Batubara, M., & Hidayat, A. 2023. Dampak Variabilitas Iklim Inter-Annual (El Niño, La Niña) terhadap Curah Hujan dan Anomali Tinggi Muka Laut di Pantai Utara Jawa Tengah. *Buletin Oseanografi Marina*, 12(1):109–124. https://doi.org/10.14710/buloma.v12i1.48377