Variabilitas Suhu Permukaan Laut Ekstrem di Perairan Indonesia serta Keterkaitannya dengan Pola Telekoneksi Iklim

Saat Mubarrok [1], Rima Rachmayani [1] , Faiz Rohman Fajary [1], Esa Fajar Hidayat [2], Azhar Nursadiyyah [1], Siti Haerunnisa [1], Ayomi Raihan Rais Arsydi [1]

[1] *Fakultas Ilmu dan Teknologi Kebumian, Institut Teknologi Bandung*

[2] *Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Brawijaya*

Latar Belakang Penelitian

Suhu Permukaan Laut (*Sea Surface Temperature/SST*) merupakan salah satu indikator penting dalam memahami perubahan kondisi oseanografi dan iklim. Peningkatan SST dapat memengaruhi produktivitas primer, kesehatan ekosistem terumbu karang, serta keseimbangan ekosistem laut. Laut Jawa merupakan wilayah perairan yang dinamis dan rentan terhadap pemanasan laut serta variabilitas iklim. Meskipun perubahan suhu rata-rata telah banyak dikaji, karakteristik suhu ekstrem, khususnya intensitas dan pola kejadiannya, masih memerlukan analisis lebih lanjut. Selain tren pemanasan, fenomena *El Niño–Southern Oscillation (ENSO)* berpotensi memengaruhi variasi suhu laut dan kejadian suhu ekstrem (Curtis et al., (2007); Sun et al. (2015). Oleh karena itu, diperlukan analisis yang mempertimbangkan tren waktu dan pengaruh ENSO untuk memahami karakteristik ekstrem SST di Laut Jawa.

Keywords: Suhu Permukaan Laut (SPL), Tren, ENSO, Laut Jawa, EVA.

Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk

1. Mengevaluasi variabilitas suhu ekstrem di Laut Jawa menggunakan model *Generalized Extreme Value (GEV)* non-stasioner
2. Menganalisis distribusi spasial dan tren temporal suhu ekstrem tahunan *(Annual Block Maxima)* selama periode 1982–2025.
3. Menentukan skenario model GEV terbaik, baik stasioner maupun non-stasioner dengan mempertimbangkan tren waktu dan ENSO sebagai kovariat.

Metodologi Penelitian

Data yang digunakan dalam penelitian:

Dataset	Sumber Data	Resolusi Spasial	Resolusi Temporal
Suhu Permukaan Laut (SPL)	NOAA OISST V2	0,25° x 0,25°	Harian
Oceanic Niño Index (ONI)	NOAA Climate Prediction Center (CPC)	Regional (Niño 3.4)	Bulanan

Data mencakup periode 1982–2025 pada wilayah Laut Jawa dan perairan sekitarnya (105°BT–120°BT dan 2,5°LS–9°LS).

Pengolahan Data dan Analisis Tren :

1. Ekstraksi *Block Maxima*: Mengambil nilai SST harian maksimum setiap tahun untuk membentuk deret suhu ekstrem tahunan (Charras et al., 2013).
2. Analisis Tren: Menggunakan *Mann-Kendall* dan *Sen's Slope Estimator* untuk mengidentifikasi signifikansi serta laju perubahan suhu (°C/dekade).
3. Analisis Korelasi: Menggunakan *Cross-Correlation Function (CCF)* untuk menentukan jeda waktu optimal antara ENSO (ONI) dan SST regional.
4. Pemodelan GEV: Menguji empat skenario parameter lokasi (μ), yaitu M0 (stasioner), M1 (tren waktu), M2 (ENSO), dan M3 (tren + ENSO).
5. Seleksi Model: Menentukan model terbaik berdasarkan *Akaike Information Criterion (AIC)* dan *Likelihood Ratio Test (LRT)* pada tingkat kepercayaan 95% (Gilleland & Katz, 2016)

Distribusi GEV:

Distribusi GEV digunakan untuk memodelkan data suhu ekstrem dengan fungsi distribusi kumulatif *(Cumulative Distribution Function/CDF)* sebagai berikut (Fawcett & Walshaw, 2018):

$$F(x;\mu,\sigma,\xi) = \exp\left\{-\left[1+\xi\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)\right]^{-1/\xi}\right\}$$

Keterangan:

μ : Parameter lokasi *(Location Parameter)*

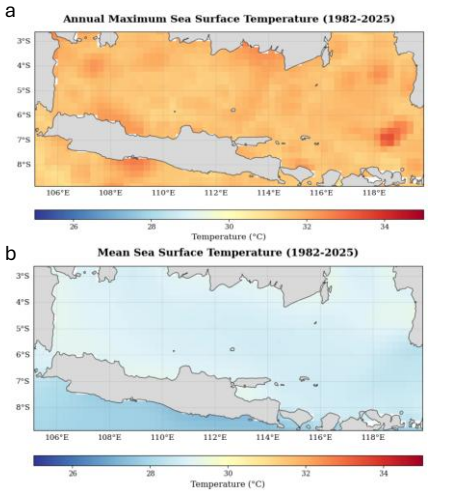
σ : Parameter skala *(Scale Parameter)*

ξ : Parameter bentuk *(Shape Parameter)*

Skenario Parameter Lokasi Non-Stasioner (μ):

M0	Stasioner	$\mu(t) = \mu_0$
M1	Tren	$\mu(t) = \mu_0 + \mu_1 \cdot \text{Tren}$
M2	ENSO	$\mu(t) = \mu_0 + \mu_2 \cdot \text{ONI}$
M3	Tren + ENSO	$\mu(t) = \mu_0 + \mu_1 \cdot \text{Tren} + \mu_2 \cdot \text{ONI}$

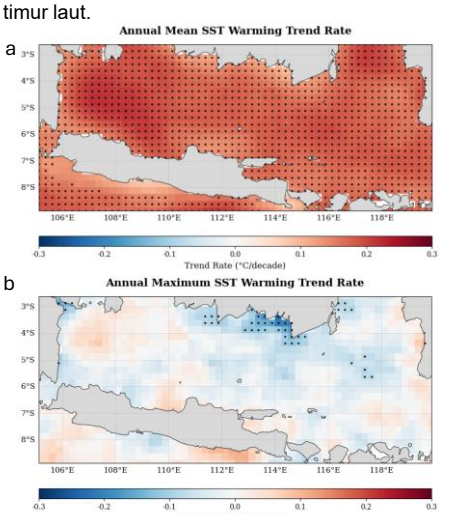
Hasil & Analisis



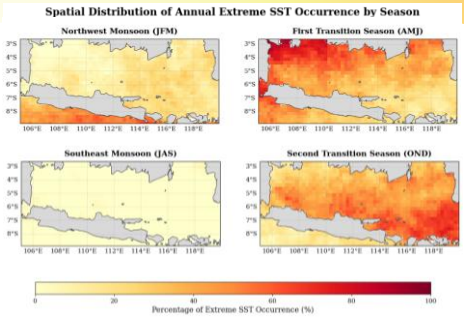
Gambar 1. a. Rata-Rata SST Periode 1982–2025, b. Rata-rata SST Maksimum Tahunan Periode 1982–2025.

Rata-Rata dan Tren SST Ekstrem

Suhu rata-rata Laut Jawa selama 1982–2025 berkisar antara 28–29,5°C dengan distribusi yang relatif homogen. Sebaliknya, suhu maksimum tahunan menunjukkan variasi spasial yang lebih tinggi, dengan nilai melebihi 31–32°C dan konsentrasi suhu tertinggi di perairan timur serta lepas pantai. Suhu rata-rata tahunan menunjukkan tren pemanasan yang kuat, merata, dan signifikan secara statistik di hampir seluruh wilayah Laut Jawa. Namun, tren suhu maksimum tahunan tidak seragam dengan tren signifikan hanya ditemukan pada beberapa wilayah kecil di bagian utara dan timur laut.



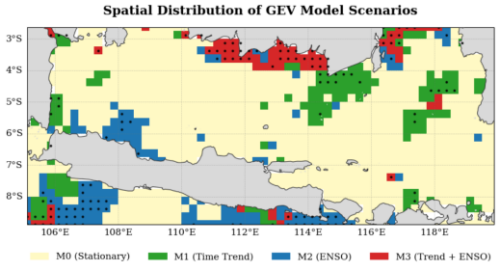
Gambar 2. a. Tren Pemanasan SST Rata-Rata Tahunan, b. Tren Pemanasan SST Maksimum Tahunan.



Gambar 3. Distribusi Spasial Kejadian Suhu Ekstrem

Variabilitas Musiman Suhu Ekstrem

Kejadian suhu ekstrem paling dominan berlangsung pada musim transisi pertama (AMJ), dengan frekuensi lebih dari 70–90% di hampir seluruh Laut Jawa. Puncak kedua terjadi pada musim transisi kedua (OND), dengan frekuensi 60–80% yang terutama terkonsentrasi di perairan timur dan tenggara. Sementara itu, musim monsun tenggara (JAS) menunjukkan frekuensi kejadian ekstrem mendekati 0% dan menjadi periode dengan suhu permukaan relatif paling rendah.



Gambar 4. Distribusi Spasial Skenario Model Generalized Extreme Value (GEV)

Distribusi Model GEV Terbaik:

Model stasioner (M0) mendominasi wilayah tengah Laut Jawa, menunjukkan bahwa kejadian suhu ekstrem di sebagian besar wilayah lebih dipengaruhi variabilitas alami. Model ENSO (M2) menunjukkan pengaruh signifikan di perairan barat daya, sedangkan model tren dan ENSO (M3) terkonsentrasi pada beberapa wilayah utara yang mengindikasikan interaksi antara pemanasan jangka panjang dan variabilitas ENSO.

Kesimpulan

1. Suhu rata-rata Laut Jawa menunjukkan tren pemanasan yang merata, sedangkan suhu maksimum tahunan memiliki pola spasial yang tidak seragam dan sebagian besar tidak signifikan.
2. Kejadian suhu ekstrem paling dominan pada musim transisi pertama (AMJ) dan kedua (OND), sementara musim tenggara (JAS) menjadi periode relatif lebih dingin.
3. Pengaruh ENSO: Model stasioner mendominasi sebagian besar wilayah, tetapi ENSO dan interaksi tren–ENSO berpengaruh signifikan pada beberapa wilayah tertentu.

Daftar Pustaka

- Charras-Garrido, M., & Lezaud, P. (2013). Extreme Value Analysis: an Introduction. Journal de la Société Française de Statistique, 154(2), 66–97.
- Curtis, S., Salahuddin, A., Adler, R. F., Huffman, G. J., Gu, G., & Hong, Y. (2007). Precipitation Extremes Estimated by GPCP and TRMM: ENSO Relationships. Journal of Hydrometeorology, 8, 678–689.
- Fawcett, L., & Walshaw, D. (2018). Classical models for extremes. Dalam Extreme Values: Statistical Analysis Using R[cite: 130]. Wiley Series in Probability and Statistics.
- Gilleland, E., & Katz, R. W. (2016). extRemes 2.0: An Extreme Value Analysis Package in R. Journal of Statistical Software, 72(8).
- Kurniadi, A., Weller, E., Min, S.-K., & Seong, M.-G. (2021). Independent ENSO and IOD impacts on rainfall extremes over Indonesia. International Journal of Climatology.
- Mubarrok, S., & Jang, C. J. (2022). Annual Maximum Precipitation in Indonesia and Its Association to Climate Teleconnection Patterns: An Extreme Value Analysis. SOLA, 18, 187–192.
- Sun, X., Renard, B., Thyer, M., Westra, S., & Lang, M. (2015). A global analysis of the asymmetric effect of ENSO on extreme precipitation. Journal of Hydrology, 530, 51–65.
- Villafuerte II, M. Q., & Matsumoto, J. (2015). Significant Influences of Global Mean Temperature and ENSO on Extreme Rainfall in Southeast Asia. Journal of Climate, 28, 1905–1919.