Volume 18, No. 3, 2025

ISSN: 1907-9931 (print), 2476-9991 (online)

KARAKTERISTIK GELOMBANG PANAS LAUT DI PERAIRAN SELATAN JAWA BARAT

MARINE HEATWAVES (MHWs) CHARACTERISTICS IN THE SOUTHERN WATERS OF WEST JAVA

Alfianu Adhi Riztiawan[1,2], Hadi Firdaus[1], Muhammad Khairan Saptari[1], Yudha Setiawan Djamil[3], Mega Laksmini Syamsuddin[4], Fadli Syamsudin[4], Qurnia Wulan Sari[4*]

[1] Program Sarjana Ilmu Kelautan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Padjadjaran, Sumedang, Indonesia.
[2] Program Magister Konservasi Laut, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Padjadjaran, Sumedang, Indonesia.
[3] Pusat Riset Iklim dan Atmosfer, Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN), Bandung, Indonesia.
[4] Departemen Ilmu Kelautan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Padjadjaran, Sumedang, Indonesia.

*Corresponding author email: qurnia.w.sari@unpad.ac.id

Submitted: 12 September 2025 / Revised: 29 September 2025 / Accepted: 25 November 2025

http://doi.org/10.21107/jk.v18i3.31731

ABSTRAK

Perairan Selatan Jawa Barat merupakan wilayah dengan dinamika oseanografi yang kompleks, dipengaruhi oleh faktor regional maupun global. Kompleksitas ini membuat area tersebut sangat rentan terhadap peningkatan suhu permukaan laut akibat perubahan iklim, yang dapat memicu Gelombang Panas Laut (GPL) dan berpotensi mengganggu ekosistem laut. Studi ini menganalisis GPL di wilayah tersebut selama periode 1995-2024 menggunakan data suhu permukaan laut hasil penginderaan satelit. Parameter utama GPL (frekuensi, durasi, dan intensitas maksimum) dievaluasi secara spasial dan temporal. Hasil menunjukkan bahwa wilayah pesisir mengalami frekuensi dan intensitas GPL yang lebih tinggi, menandakan kerentanan perairan dangkal terhadap kejadian suhu ekstrem. GPL paling ekstrem terjadi pada tahun 1998, 2010, dan 2016, dengan tahun 2016 menunjukkan durasi terpanjang (35 hari) dan frekuensi tertinggi (7,28 kejadian). Intensitas maksimum tercatat pada tahun 1998 sebesar 1,89 °C, diikuti oleh tahun 2016 dan 2010. Pola temporal sangat dipengaruhi oleh variabilitas antar-tahunan, kemungkinan didorong oleh mode iklim seperti ENSO, sementara tren jangka panjang yang signifikan tidak terdeteksi. Studi ini berfokus pada parameter utama GPL dan tidak membahas faktor fisik potensial seperti fluks panas udara-laut, sirkulasi arus laut, atau gaya angin lokal. Temuan ini memberikan dasar ilmiah bagi upaya konservasi ekosistem pesisir sekaligus mendukung perumusan kebijakan perikanan tangkap yang adaptif terhadap variabilitas iklim di selatan Jawa Barat.

***Kata Kunci**: Gelombang Panas Laut, Satelit, Suhu Permukaan Laut*

ABSTRACT

The Western Southern Java Waters are a region with complex oceanographic dynamics influenced by both regional and global factors. This complexity makes the area highly susceptible to increasing sea surface temperatures due to climate change, which can trigger Marine Heatwaves (MHWs) and potentially disrupt marine ecosystems. This study analyzed MHWs in the region over the period 1995-2024 using satellite-derived sea surface temperature data. The primary metrics of MHWs (frequency, duration, and maximum intensity) were evaluated both spatially and temporally. Results show that coastal areas experienced higher MHW frequency and intensity, indicating greater vulnerability of shallow waters to extreme temperature events. The most extreme MHWs occurred in 1998, 2010, and 2016, with 2016 exhibiting the longest duration (35 days) and highest frequency (7.28 events). Maximum intensity peaked in 1998 at 1.89 °C, followed closely by 2016 and 2010. Temporal patterns were strongly influenced by interannual variability, likely driven by climate modes such as ENSO, whereas no significant long-term trends were detected. This study focused on primary MHW metrics and did not explore potential physical drivers such as air-sea heat flux, ocean current circulation, or

local wind forcing. These findings provide a scientific basis for coastal ecosystem conservation efforts and support the formulation of climate-adaptive fisheries management policies in southern West Java.

***Keywords**: Marine Heatwaves, Satellite, Sea Surface Temperature*

PENDAHULUAN

Marine Heatwaves (MHWs) atau biasa disebut dengan Gelombang Panas Laut (GPL) merupakan fenomena lingkungan yang signifikan, memengaruhi ekosistem laut dan pesisir serta dinamika iklim global. Faktor utama pemicu GPL terkait dengan perubahan iklim, emisi gas rumah kaca, dan aktivitas antropogenik (Krishnapriya *et al.,* 2023; Oliver *et al.,* 2018), yang juga memicu kejadian ekstrem lain seperti perubahan pola curah hujan, kenaikan permukaan laut, dan pergeseran ekosistem (Kumar *et al.,* 2023). Pemanasan laut yang dipercepat akibat emisi gas rumah kaca meningkatkan kemungkinan terjadinya GPL, sementara suhu rata-rata udara global telah meningkat sekitar 1,1 °C (Hereher, 2023; Oliver *et al.,* 2018).

Kenaikan Suhu Permukaan Laut (*Sea Surface Temperature*/SST) merupakan ciri utama GPL, yang berdampak pada berbagai konsekuensi ekologis. Frekuensi dan durasi GPL meningkat secara signifikan selama abad terakhir, dengan lonjakan kejadian panas ekstrem yang tercatat di seluruh dunia (Laufkötter *et al.,* 2020; Oliver *et al.,* 2018). GPL didefinisikan sebagai periode ketika SST melebihi persentil ke-90 dari data historis setidaknya selama lima hari berturut-turut (Hobday *et al.,* 2016). Kejadian ini terjadi baik di laut lepas maupun wilayah pesisir, dengan dampak signifikan terhadap ekosistem laut dan ekonomi yang bergantung pada sumber daya laut (Oliver *et al.,* 2018; Pujol *et al.,* 2022).

GPL juga menimbulkan dampak ekologis yang merugikan, termasuk pemutihan karang, penurunan populasi ikan, dan perubahan komunitas biota laut (Holbrook *et al.,* 2020; Oliver *et al.,* 2021). Sebagai contoh, kejadian global pada tahun 2010 menyebabkan sekitar 30% terumbu karang dunia mengalami pemutihan, dengan dampak paling parah terjadi di Karibia dan *Great Barrier Reef* (GBR), di mana hampir 50% tutupan karang terdampak dan beberapa zona melaporkan tingkat pemutihan hingga 80% (Baum *et al.,* 2023). Kejadian serupa terjadi pada tahun 2016, dengan hampir 50% karang di bagian utara GBR mengalami pemutihan parah, sehingga mengakibatkan perubahan besar pada struktur komunitas (Boström-Einarsson *et al.,* 2020). Selain itu, proyeksi menunjukkan bahwa pada tahun 2100, sekitar 15% lautan dapat mengalami kondisi GPL permanen dalam skenario emisi tinggi (Cheng *et al.,* 2023).

Perairan selatan Jawa barat menjadi wilayah yang memiliki dinamika oseanografi yang kompleks. Interaksi faktor regional seperti Arus Lintas Indonesia (Arlindo), gelombang Kelvin, dan *upwelling* musiman, berpadu dengan pengaruh global seperti *El Niño-Southern Oscillation* (ENSO) dan *Indian Ocean Dipole* (IOD), menciptakan variabilitas SST yang tinggi (Rachman *et al.,* 2019). Kondisi ini menjadikan perairan selatan Jawa Barat rentan mengalami pemanasan laut ekstrem. Studi yang dilakukan oleh Iskandar *et al.* (2021) menunjukkan bahwa Perairan Selatan Jawa Barat memiliki intensitas dan durasi terpanjang GPL, dengan frekuensi tahunan kurang dari 2 (dua) kali per tahun antara tahun 1982-2019. GPL terkuat terjadi pada tahun 1998, sementara tahun dengan durasi terpanjang dan intensitas relatif tinggi adalah tahun 2016. Selain itu, perairan Selatan Jawa Barat juga memiliki frekuensi *upwelling* yang tinggi sebagai bentuk akibat dari GPL (Ningsih *et al.,* 2025).

Berdasarkan hasil studi sebelumnya mengenai GPL di Selatan Jawa secara umum, belum ada analisis untuk kondisi secara spesifik di wilayah selatan Jawa Barat dan juga perioda temporal 1995-2024. Penelitian ini melihat kondisi spasial-temporal yang lebih detail untuk wilayah Jawa Barat dengan dinamika yang kompleks dan melihat wilayah *hotspot* yang rentan secara ekosistem. Mengingat pentingnya pemahaman mengenai fenomena ini, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis frekuensi, durasi, dan intensitas maksimum GPL di Perairan Selatan Jawa Barat. Penelitian ini menggunakan data satelit penginderaan jauh untuk memantau SST, sehingga memungkinkan identifikasi kuantitatif pola pemanasan laut ekstrem pada skala spasial yang detail di Jawa Barat dan temporal dalam tiga dekade terakhir.

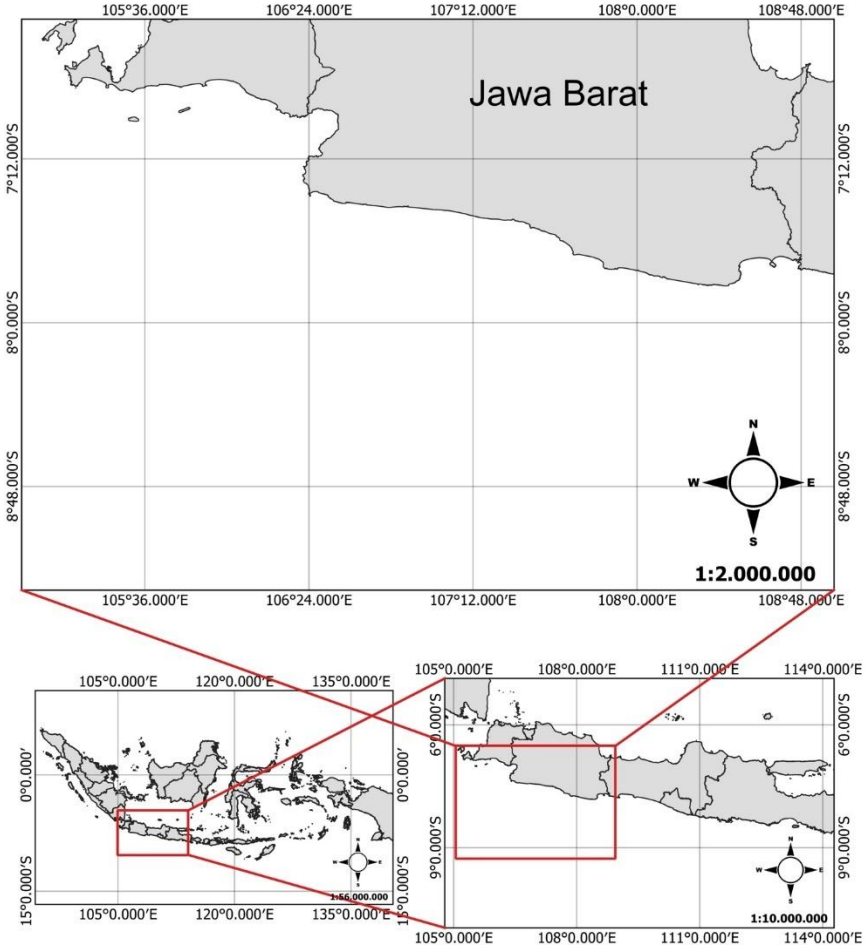
Analisis ini diharapkan dapat memberikan pemahaman komprehensif mengenai distribusi, intensitas, dan durasi GPL di wilayah tersebut, serta mengidentifikasi area yang rentan terhadap dampak ekologis dari gelombang panas laut. Implikasinya terhadap wilayah selatan Jawa Barat cukup signifikan. Tren GPL yang teridentifikasi menegaskan kerentanan ekosistem pesisir, seperti terumbu karang, padang lamun, dan mangrove yang

berfungsi sebagai penopang keanekaragaman hayati sekaligus benteng alami bagi pesisir. Pada saat yang sama, informasi ini juga krusial bagi kebijakan perikanan tangkap, mengingat perairan selatan Jawa Barat merupakan basis ekonomi masyarakat pesisir; pemahaman mengenai pola GPL dapat digunakan untuk mengatur musim penangkapan, memperkuat sistem peringatan dini, serta merancang strategi adaptasi pengelolaan perikanan yang lebih responsif terhadap variabilitas iklim.

MATERI DAN METODE

Wilayah Penelitian

Wilayah Kajian (*Area of Interest/AOI*) dalam penelitian ini terletak di Perairan Selatan Jawa Barat, dengan batas geografis 6,8°-10°LS dan 105°-109°BT (**Gambar 1**).



Gambar 1. Peta Perairan Selatan Jawa Bagian Barat, kotak merah menandakan AOI

Data

Data harian *Operational SST and Sea Ice Analysis* (OSTIA) beresolusi tinggi dengan resolusi spasial 0,05° (Donlon et al., 2012) diperoleh dari *Copernicus Marine Environment Monitoring Service* (CMEMS) dan dapat diunduh melalui tautan https://data.marine.copernicus.eu/product/SST_GLO_SST_L4_NRT_OBSERVATIONS_010_001/description . Deret waktu harian SST untuk area kajian dihasilkan melalui perhitungan rata-rata spasial di seluruh AOI. Data SST digunakan sebagai dataset utama untuk menganalisis GPL. Dataset tersebut diproses untuk menentukan nilai klimatologis dan ambang batas berdasarkan pola jangka panjang yang kemudian digunakan untuk mendeteksi kejadian GPL serta menghitung frekuensi, durasi, dan intensitas maksimumnya. Dataset ini mencakup periode 30 tahun, yakni dari 1 Januari 1995 hingga 31 Desember 2024. Periode 1995-2024 dipilih karena memenuhi standar minimal 30 tahun analisis iklim (WMO, 2017) sekaligus menjamin konsistensi sensor dan algoritme pada dataset OSTIA. Selain itu, rentang waktu mencakup kejadian ekstrem utama pada tahun 1998, 2010, dan 2016 masih tetap tercakup. Penggunaan data satelit dipilih karena memiliki konsistensi spasial-temporal yang tinggi, resolusi temporal harian, dan cakupan area

yang luas, sementara data in-situ di Perairan selatan Jawa Barat masih sangat terbatas secara spasial dan temporal, sehingga sulit untuk menanalisis tren jangka panjang.

Metode

Deteksi GPL

GPL pada penelitian ini dideteksi menggunakan pendekatan ambang berbasis klimatologi yang mempertimbangkan variabilitas musiman (WMO, 2017). Klimatologi diturunkan dari data SST harian selama periode 30 tahun. Menurut Perkins & Alexander (2013) dan Hobday *et al.* (2016), GPL didefinisikan sebagai periode ketika SST harian melebihi persentil ke-90 dari klimatologi lokal, serupa dengan deteksi gelombang panas atmosfer. Untuk kejadian yang lebih ekstrem, ambang persentil lebih tinggi, seperti persentil ke-99, dapat digunakan (Frölicher *et al.,* 2018; Schaeffer & Roughan, 2017). GPL diidentifikasi sebagai periode ketika SST harian berada di atas ambang setidaknya selama lima hari berturut-turut. Dua kejadian yang terpisah kurang dari tiga hari dianggap sebagai satu kejadian. Deteksi dan analisis dilakukan menggunakan *MATLAB toolbox* (Zhao & Marin, 2019), yang memungkinkan deteksi GPL pada setiap grid spasial, visualisasi kejadian, serta perhitungan rerata tahunan, frekuensi, durasi, dan intensitas maksimum. Parameter yang dianalisis meliputi durasi (jumlah hari dari awal hingga akhir setiap kejadian GPL) dan intensitas maksimum (anomali SST maksimum selama kejadian). Deret waktu dari rerata tahunan durasi, intensitas maksimum tahunan, dan frekuensi kejadian dihitung. Karena keterbatasan pengukuran *in-situ*, penelitian ini sepenuhnya bergantung pada data satelit SST untuk deteksi GPL, sejalan dengan studi sebelumnya (Carvalho *et al.,* 2021; Mawren *et al.,* 2022; Miyama *et al.,* 2021).

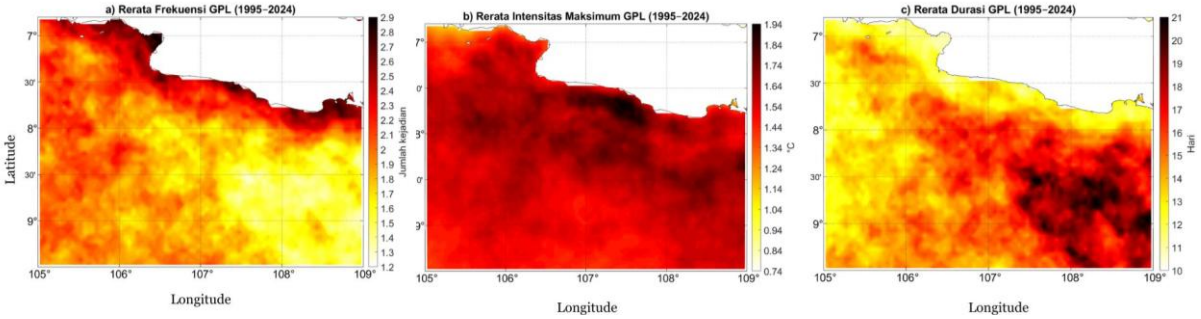
HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik GPL

Karakteristik rata-rata GPL di Perairan Selatan Jawa Barat selama periode 1995-2024 disajikan pada **Gambar 2**. Rata-rata frekuensi tahunan GPL berkisar antara 1-3 kejadian per tahun, dengan frekuensi yang lebih tinggi teramati di wilayah pesisir, mencapai hingga 3 kejadian per tahun (**Gambar 2a**). Pola ini menunjukkan tingkat kerentanan yang lebih tinggi pada perairan pesisir dangkal terhadap kejadian suhu ekstrem.

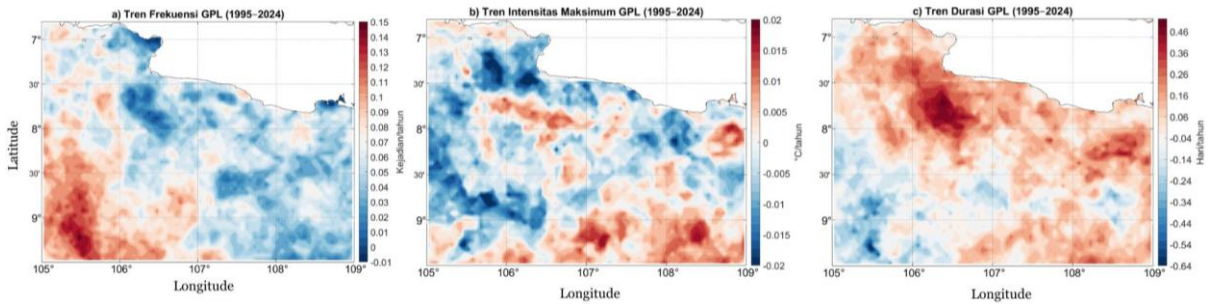
Rata-rata intensitas maksimum GPL bervariasi antara 0,7-1,9 °C, dengan intensitas tertinggi terutama terdistribusi di wilayah pesisir selatan. Area ini, yang ditunjukkan dengan warna merah tua hingga hitam pada peta spasial, mengindikasikan hotspot lokal dari anomali suhu permukaan laut ekstrem (**Gambar 2b**). Rata-rata durasi GPL berkisar antara 10-21 hari (**Gambar 2c**). Durasi terpanjang, lebih dari 19 hari, secara konsisten teramati di perairan lepas pantai bagian tenggara (sekitar 8°-9,5°LS dan 107,5°-109°BT), sedangkan kejadian yang lebih singkat yakni10-15 hari, terjadi terutama di dekat garis pantai.

Tingginya frekuensi di wilayah dekat garis pantai ini sejalan dengan temuan Ningsih *et al.* (2025) yang mengidentifikasi pesisir Jawa Barat sebagai lokasi dengan frekuensi GPL tertinggi namun dengan durasi yang cenderung pendek. Hal ini menunjukan bahwa wilayah pesisir selatan Jawa Barat dipengaruhi oleh dinamika *upwelling*.



Gambar 2. Karakteristik GPL selama 30 tahun (1995-2024) di Perairan Selatan Jawa Barat: a) Frekuensi Rata-rata; b) Intensitas Maksimum Rata-rata; dan c) Durasi Rata-rata.

Gambar 3 menunjukkan tren linier 30 tahun (1995–2024) gelombang panas laut (GPL) di perairan selatan Jawa Barat yang ditinjau berdasarkan tiga parameter, yaitu frekuensi rata-rata (**Gambar 3a**), intensitas maksimum rata-rata (**Gambar 3b**), dan durasi rata-rata (**Gambar 3c**). Secara umum, pola spasial tren ini memperlihatkan adanya heterogenitas yang kuat di sepanjang wilayah kajian, dengan perbedaan kontras antara area pesisir dan laut lepas.



Gambar 3. Tren 30 tahun selama periode 1995-2024 GPL di Perairan Selatan Jawa Barat: a) Frekuensi Rata-rata; b) Intensitas Maksimum Rata-rata; dan c) Durasi Rata-rata.

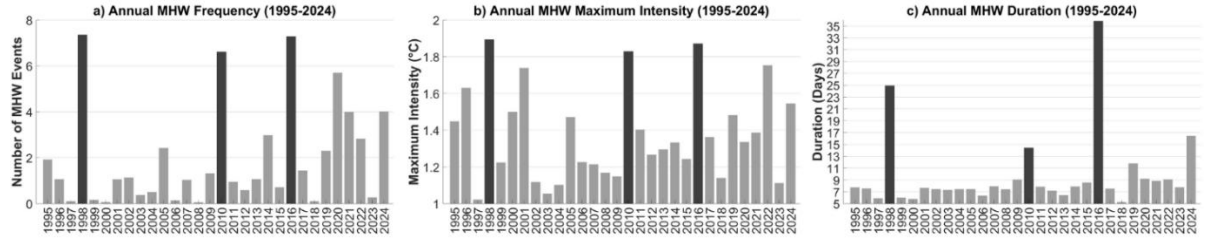
Tren linier frekuensi GPL (**Gambar 3a**) menunjukkan peningkatan yang relatif kecil, dengan nilai berkisar antara -0,01 hingga +0,15 kejadian per tahun. Tren positif menunjukkan bahwa jumlah kejadian GPL secara bertahap meningkat dari waktu ke waktu. Area yang menunjukkan peningkatan tren frekuensi terutama terletak di lepas pantai bagian barat daya wilayah kajian, yang mengindikasikan kerentanan lebih tinggi terhadap kejadian suhu ekstrem di wilayah tersebut. Variabilitas spasial dalam tren frekuensi kemungkinan dipengaruhi oleh perairan pesisir dangkal, yang lebih cepat mengalami pemanasan akibat penyerapan radiasi matahari yang efisien dan terbatasnya pencampuran vertikal.

Tren linier intensitas maksimum GPL (**Gambar 3b**) bervariasi antara -0,02 hingga +0,02 °C per tahun, menunjukkan pola campuran berupa sedikit peningkatan maupun penurunan di seluruh wilayah kajian. Tren intensitas positif umumnya teramati di sekitar zona pesisir, konsisten dengan pola pemanasan global, di mana suhu permukaan laut telah meningkat sebesar 1,35 °C sejak era pra-industri, dengan laju pemanasan yang semakin cepat yakni 0,02 °C per tahun (Lindsey & Dahlman, 2024). Besarnya tren intensitas yang relatif kecil dapat dikaitkan dengan efek penyangga kapasitas panas laut serta proses adveksi.

Untuk durasi GPL (**Gambar 3c**), tren linier berkisar antara -0,34 hingga +0,50 hari per tahun. Sebagian besar wilayah kajian menunjukkan tren positif, yang mengindikasikan bahwa durasi kejadian GPL secara umum meningkat selama tiga dekade terakhir. Tren negatif terbatas hanya pada beberapa area kecil. Tren positif dalam durasi mengisyaratkan potensi tekanan termal jangka panjang pada ekosistem laut, khususnya bagi organisme yang sensitif terhadap suhu. Temuan ini konsisten dengan studi sebelumnya yang melaporkan peningkatan kejadian dan durasi GPL di perairan pesisir maupun lepas pantai (Marin *et al.,* 2021; Oliver *et al.,* 2018). Lebih lanjut, gelombang panas atmosfer yang dapat memengaruhi dinamika SST melalui perubahan curah hujan dan penguapan juga mungkin berkontribusi terhadap tren yang diamati (Miralles *et al.,* 2019).

Analisis Temporal

Parameter dari karakteristik spasial GPL dirata-ratakan setiap tahun selama periode 1995-2024 untuk memahami karakteristik dan variabilitas temporal GPL di perairan selatan Jawa Barat. Hasilnya menunjukkan variabilitas secara temporal untuk wilayah selatan Jawa Barat. **Gambar 4** menampilkan karakteristik tahunan gelombang panas laut (GPL) di perairan selatan Jawa Barat selama periode 1995-2024 dengan tiga parameter utama, yaitu frekuensi kejadian, intensitas maksimum, dan durasi kejadian.



Gambar 4. (a) Frekuensi, (b) intensitas maksimum, dan (c) durasi seluruh kejadian GPL yang dirata-ratakan secara tahunan di wilayah kajian. Batang yang disorot menunjukkan tahun-tahun dengan kejadian ekstrem: 1998 dan 2010 (frekuensi tinggi dan intensitas kuat) serta 2016 (frekuensi tertinggi, durasi terpanjang, dan total hari terbanyak).

Analisis ini memberikan gambaran yang lebih komprehensif mengenai pola temporal GPL yang berdampak pada dinamika ekosistem laut tropis. Karakteristik temporal untuk frekuensi (**Gambar 4a**) menunjukkan sebagian besar tahun dalam rentang observasi mencatat 1-3 kejadian GPL. Hal ini mencerminkan kondisi perairan yang relatif stabil pada sebagian besar periode. Namun, peningkatan nilai signifikan terlihat pada tahun 1998, 2010, dan terutama 2016.

Tahun 1998 menandai periode pasca-El Niño kuat 1997/98, yang tercatat sebagai salah satu peristiwa iklim global paling intens dalam sejarah modern. Untuk matrik frekuensi, tahun ini menunjukan lonjakan kejadian GPL disertai dengan intensitas maksimum yang cukup tinggi. Intensitas suhu yang melampaui ambang batas normal pada 1998 memicu risiko ekologis signifikan seperti *coral bleaching* massal, penurunan fitoplankton, serta stres fisiologis pada ikan dan organisme laut lainnya.

Tahun 2010 juga menunjukkan peningkatan frekuensi yang tidak biasa, yang berhubungan dengan variabilitas iklim setelah La Niña 2009/2010 (Kousky & Higgins, 2007). Pada matrik intensitas maksimum (**Gambar 4b**), tahun ini mencatat salah satu puncak tertinggi sepanjang periode pengamatan. Meski jumlah kejadian tidak sebanyak 2016, kekuatan peristiwa GPL di 2010 cukup ekstrem untuk menimbulkan dampak ekologis serius.

Sementara itu, tahun 2016 menampilkan kondisi yang paling kritis sepanjang 30 tahun pengamatan. Frekuensi kejadian tercatat paling tinggi, disertai durasi terpanjang dan jumlah hari terbanyak (**Gambar 4c**). Peristiwa ini berhubungan erat dengan El Niño 2015/2016 yang bersamaan dengan tren pemanasan laut global, sehingga menghasilkan kombinasi yang sangat ekstrem. Durasi panjang GPL pada tahun ini menandakan tekanan termal yang tidak sporadis, melainkan berlangsung lama, meningkatkan risiko kerusakan kumulatif pada ekosistem laut. Dampaknya termasuk perlambatan pemulihan terumbu karang dari *bleaching*, degradasi padang lamun, serta penurunan produktivitas primer.

Penelitian oleh Beliyana *et al.* (2023) mengenai GPL di Perairan Utara dan Selatan Jawa menunjukkan adanya perbedaan nilai magnitudo dibandingkan dengan cakupan wilayah yang lebih luas. Pada wilayah kajian di selatan Jawa Barat, kondisi lebih jelas terdefinisi, terutama perbedaan yang sangat tinggi pada tahun 2016 yang menjadi periode dengan durasi terpanjang dan jumlah kejadian terbanyak. Hal ini menunjukkan bahwa wilayah selatan Jawa Barat merupakan *hotspot* GPL yang lebih sensitif terhadap anomali iklim global dibandingkan wilayah utara Jawa.

Hasil perbandingan dengan penelitian sebelumnya memperlihatkan bahwa meskipun GPL bersifat regional, dampaknya tidak seragam. Wilayah selatan Jawa Barat menempati posisi strategis sebagai kawasan yang paling terpengaruh, sehingga memerlukan perhatian khusus dalam perencanaan adaptasi dan mitigasi berbasis ekosistem laut. Secara keseluruhan, identifikasi pola GPL dan tahun-tahun ekstrem (1998, 2010, 2016) memberikan dasar ilmiah yang kuat untuk mendukung target SDG 14: *Life Below Water*, khususnya dalam upaya melindungi ekosistem laut dari dampak perubahan iklim, meningkatkan resiliensi masyarakat pesisir, serta memastikan pemanfaatan sumber daya laut yang berkelanjutan.

Frekuensi GPL tertinggi tercatat pada tahun 1998 dengan 7,35 kejadian, diikuti tahun 2016 dengan 7,28 kejadian dan 2010 dengan 6,61 kejadian. Sebaliknya, frekuensi terendah terjadi pada tahun 2000 (0,06 kejadian) dan 2008 (0,05 kejadian), dengan hampir tidak ada aktivitas GPL yang terdeteksi pada tahun-tahun tersebut. Rata-rata frekuensi GPL selama tiga dekade terakhir adalah 1,99 kejadian per tahun.

Rata-rata durasi GPL mencapai nilai terpanjang pada tahun 2016, yaitu 35 hari, yang menandai salah satu kejadian paling ekstrem dalam catatan. Tahun-tahun lain dengan durasi panjang adalah 1998 (25 hari) dan 2024 (16 hari). Sebaliknya, durasi terpendek terjadi pada tahun 2018, dengan hanya 5 hari per kejadian. Rata-rata durasi selama keseluruhan periode adalah 9 hari per kejadian.

Sementara itu, intensitas maksimum GPL mencapai puncaknya pada tahun 1998 sebesar 1,89 °C, diikuti oleh 2016 (1,87 °C) dan 2010 (1,83 °C). Intensitas terendah tercatat pada tahun 1997 (1,02 °C) dan 2003 (1,05 °C). Secara keseluruhan, rata-rata intensitas maksimum selama periode 1995-2024 adalah sekitar 1,38 °C.

Secara umum, diagram batang frekuensi, intensitas maksimum, dan durasi GPL tidak menunjukkan tren jangka panjang yang signifikan selama periode 30 tahun. Sebaliknya, pola temporal tampaknya lebih banyak dipengaruhi oleh variabilitas antar-

tahunan dari anomali suhu permukaan laut. Kondisi ini sejalan dengan karakteristik perairan selatan Jawa Barat yang dipengaruhi upwelling musiman dan dinamika IOD yang berperan penting dalam menentukan produktivitas primer (Oktaviani *et al.,* 2021). Selain itu, variabilitas iklim global seperti ENSO turut memengaruhi curah hujan dan sektor pertanian di Jawa Barat, sehingga menegaskan keterkaitan erat antara GPL, dinamika oseanografi lokal, dan sistem sosial-ekologi pesisir (Nabilah *et al.,* 2017; Sigid *et al.,* 2021).

KESIMPULAN DAN SARAN

Studi ini menunjukkan bahwa perairan selatan Jawa Barat merupakan hotspot gelombang panas laut (GPL) dengan kerentanan tinggi. Pesisir mengalami frekuensi dan intensitas lebih besar, terutama pada 1998, 2010, dan 2016, dengan 2016 mencatat durasi terpanjang. Variabilitas GPL dipengaruhi mode iklim seperti ENSO, tanpa tren jangka panjang signifikan. Temuan ini menegaskan perlunya kajian multiskala dan penelitian lanjutan faktor oseanografi lokal untuk mendukung mitigasi, adaptasi ekosistem, dan sistem peringatan dini.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini menggunakan data satelit *High-Resolution Daily Operational SST and Sea Ice Analysis* (OSTIA) yang tersedia melalui *Copernicus Marine Service* (https://marine.copernicus.eu) serta modul perhitungan *Marine Heatwaves* (MHW) yang disediakan melalui *Marine Heatwaves International Project* (https://github.com/ecjoliver/marineHeatWaves). Penelitian ini merupakan bagian dari *BIMA Fundamental Research* dengan nomor kontrak 093/C3/DT.05.00/PL/2025 dan 1634/UN6.3.1/PT.00/2025.

DAFTAR PUSTAKA

Baum, J. K., Claar, D. C., Tietjen, K. L., Magel, J. M. T., Maucieri, D. G., Cobb, K. M., & McDevitt-Irwin, J. M. (2023). Transformation of Coral Communities Subjected to an Unprecedented Heatwave is Modulated by Local Disturbance. *Science Advances*, *9*(14), eabq5615. https://doi.org/10.1126/sciadv.abq5615

Beliyana, E., Ningsih, N. S., Gunawan, S. R., & Tarya, A. (2023). Characteristics of Marine Heatwaves in the Indonesian Waters during the PDO, ENSO, and IOD Phases and Their Relationships to Net Surface Heat Flux. *Atmosphere*, *14*(6), 1035. https://doi.org/10.3390/atmos14061035

Boström-Einarsson, L., Babcock, R. C., Bayraktarov, E., Ceccarelli, D., Cook, N., Ferse, S. C. A., Hancock, B., Harrison, P. L., Hein, M. Y., Shaver, E. C., Smith, A. K., Suggett, D. J., Stewart-Sinclair, P. J., Vardi, T., & McLeod, I. (2020). Coral Restoration - A Systematic Review of Current Methods, Successes, Failures and Future Directions. *PLoS ONE*, *15*(1), e0226631. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0226631

Carvalho, K. S., Smith, T. E., & Wang, S. (2021). Bering Sea Marine Heatwaves: Patterns, Trends and Connections with the Arctic. *Journal of Hydrology*, *600*, 126462. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2021.126462

Cheng, Y., Zhang, M., Song, Z., Wang, G., Zhao, C., Shu, Q., Zhang, Y., & Qiao, F. (2023). A Quantitative Analysis of Marine Heatwaves in Response to Rising Sea Surface Temperature. *Science of the Total Environment*, *881*(December 2022), 163396. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.163396

Donlon, C. J., Martin, M., Stark, J., Roberts-Jones, J., Fiedler, E., & Wimmer, W. (2012). The Operational Sea Surface Temperature and Sea Ice Analysis (OSTIA) System. *Remote Sensing of Environment*, *116*, 140-158. https://doi.org/10.1016/j.rse.2010.10.017

Frölicher, T. L., Fischer, E. M., & Gruber, N. (2018). Marine Heatwaves Under Global Warming. *Nature*, *560*(7718), 360-364. https://doi.org/10.1038/s41586-018-0383-9

Hereher, M. E. (2023). Assessment of Seasonal Warming Trends at the Nile Delta: A Paradigm for Human Induced Climate Change. *Environmental Monitoring and Assessment*, *196*(1), 20. https://doi.org/10.1007/s10661-023-12204-7

Hobday, A. J., Alexander, L. V, Perkins, S. E., Smale, D., Straub, S. C., Oliver, E. C. J., Benthuysen, J. A., Burrows, M. T., Donat, M. G., Feng, M., Holbrook, N. J., Moore, P. J., Scannell, H. A., Gupta, A. Sen, & Wernberg, T. (2016). A Hierarchical Approach to Defining Marine Heatwaves. *Progress in Oceanography*, *141*, 227-238. https://doi.org/10.1016/j.pocean.2015.12.014

Holbrook, N. J., Gupta, A. Sen, Oliver, E. C. J., Hobday, A. J., Benthuysen, J. A., Scannell, H. A., Smale, D. A., & Wernberg, T. (2020). Keeping Pace with Marine Heatwaves. *Nature Reviews Earth \& Environment*, *1*(9), 482-493. https://doi.org/10.1038/s43017-020-0068-4

Iskandar, M. R., Ismail, M. F. A., Arifin, T., & Chandra, H. (2021). Marine Heatwaves of Sea Surface Temperature off South Java. *Heliyon*, *7*(12), e08618. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e08618

Kousky, V. E., & Higgins, R. W. (2007). An Alert Classification System for Monitoring and Assessing the ENSO Cycle. Weather and Forecasting, 22(2), 353–371. https://doi.org/10.1175/WAF987.1

Krishnapriya, M. S., Varikoden, H., Anjaneyan, P., & Kuttippurath, J. (2023). Marine Heatwaves During the Pre-monsoon Season and Their Impact on Chlorophyll-a in the North Indian Ocean in 1982-2021. *Marine Pollution Bulletin*, *197*, 115783. https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2023.115783

Kumar, S., Chakraborty, A., Chandrakar, R., Kumar, A., Sadhukhan, B., & Roy Chowdhury, R. (2023). Analysis of Marine Heatwaves Over the Bay of Bengal During 1982-2021. *Scientific Reports*, *13*(1), 1-15. https://doi.org/10.1038/s41598-023-39884-y

Laufkötter, C., Zscheischler, J., & Frölicher, T. L. (2020). High-Impact Marine Heatwaves Attributable to Human-Induced Global Warming. *Science*, *369*(6511), 1621-1625. https://doi.org/10.1126/science.aba0690

Lindsey, R., & Dahlman, L. (2024). *Climate Change: Global Temperature*. NOAA Climate.gov. https://www.climate.gov/news-features/understanding-climate/climate-change-global-temperature

Marin, M., Feng, M., Phillips, H. E., & Bindoff, N. L. (2021). A Global, Multiproduct Analysis of Coastal Marine Heatwaves: Distribution, Characteristics, and Long-Term Trends. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, *126*(2), 1-17. https://doi.org/10.1029/2020JC016708.

Mawren, D., Hermes, J., & Reason, C. J. C. (2022). Marine heatwaves in the Mozambique Channel. *Climate Dynamics*, *58*(1-2), 305-327. https://doi.org/10.1007/s00382-021-05909-3.

Miralles, D. G., Gentine, P., Seneviratne, S. I., & Teuling, A. J. (2019). Land-Atmospheric Feedbacks During Droughts and Heatwaves: State of the Science and Current Challenges. *Annals of the New York Academy of Sciences*, *1436*(1), 19-35. https://doi.org/10.1111/nyas.13912.

Miyama, T., Minobe, S., & Goto, H. (2021). Marine Heatwave of Sea Surface Temperature of the Oyashio Region in Summer in 2010-2016. *Frontiers in Marine Science*, *7*, 1-12. http://dx.doi.org/10.3389/fmars.2020.576240.

Nabilah, F., Prasetyo, Y., & Sukmono, A. (2017). Analisis pengaruh fenomena El Nino dan La Nina terhadap curah hujan tahun 1998-2016 menggunakan indikator ONI (Oceanic Nino Index)(studi kasus: Provinsi Jawa Barat). *Jurnal Geodesi Undip*, *6*(4), 402-412. https://doi.org/10.14710/jgundip.2017.18170.

Ningsih, N. S., Beliyana, E., Kamila, I. H., & Tarya, A. (2025). Long-term characteristics of marine heatwaves (1982–2021) in Indonesian water and their impact on upwelling (case study: Southern Java). Frontiers in Marine Science, 12, 1504995. https://doi.org/10.3389/fmars.2025.1504995.

Oktaviani, D., Handoyo, G., Helmi, M., Kunarso, K., & Wirasatriya, A. (2021). Karakteristik Upwelling pada Periode Indian Ocean Dipole (IOD) Positif di Perairan Selatan Jawa Barat. *Indonesian Journal of Oceanography*, *3*(4), 354-361. https://doi.org/10.14710/ijoce.v3i4.12081.

Oliver, E. C. J., Benthuysen, J. A., Darmaraki, S., Donat, M. G., Hobday, A. J., Holbrook, N. J., Schlegel, R. W., & Gupta, A. Sen. (2021). Marine Heatwaves. *Annual Review of Marine Science*, *13*(1), 313-342. https://doi.org/10.1146/annurev-marine-032720-095144.

Oliver, E. C. J., Donat, M. G., Burrows, M. T., Moore, P. J., Smale, D. A., Alexander, L. V., Benthuysen, J. A., Feng, M., Sen Gupta, A., Hobday, A. J., Holbrook, N. J., Perkins-Kirkpatrick, S. E., Scannell, H. A., Straub, S. C., & Wernberg, T. (2018). Longer and More Frequent Marine Heatwaves Over the Past Century. *Nature Communications*, *9*(1), 1-12. https://doi.org/10.1038/s41467-018-03732-9.

Perkins, S. E., & Alexander, L. V. (2013). On the Measurement of Heat Waves. *Journal of Climate*, *26*(13), 4500-4517.

https://doi.org/10.1175/JCLI-D-12-00383.1.

Pujol, C., Peréz-Santos, I., Barth, A., & Alvera-Azcárate, A. (2022). Marine Heatwaves Offshore Central and South Chile: Understanding Forcing Mechanisms During the Years 2016-2017. *Frontiers in Marine Science*, *9*, 800325. https://doi.org/10.3389/fmars.2022.800325.

Rachman, H. A., Gaol, J. L., & Syamsudin, F. (2019). Variasi Data Suhu Permukaan Laut, Tinggi Paras Laut, Klorofil-a, dan Upwelling di Perairan Selatan Jawa serta Korelasinya Dengan Data Lapangan. *Journal of Marine and Aquatic Sciences*, *5*(2), 289. https://doi.org/10.24843/jmas.2019.v05.i02.p17.

Schaeffer, A., & Roughan, M. (2017). Subsurface Intensification of Marine Heatwaves Off Southeastern Australia: The Role of Stratification and Local Winds. *Geophysical Research Letters*, *44*(10), 5025-5033. https://doi.org/10.1002/2017GL073714.

Sigid, M. F., Abdillah, M. R., & Dupe, Z. L. (2021). Perubahan Karakteristik Curah Hujan Jangka Panjang di Provinsi Jawa Barat Tahun 1921-2010 (Long-Term Changes in Rainfall Characteristics in West Java Province). *Jurnal Sains Dirgantara*, *18*(2), 99-110. http://dx.doi.org/10.30536/j.jsd.2020.v18.a3555.

WMO. (2017). WMO Guidelines on the Calculation of Climate Normals. In *WMO-No. 1203* (Nomor 1203). https://library.wmo.int/records/item/55797-wmo-guidelines-on-the-calculation-of-climate-normals

Zhao, Z., & Marin, M. (2019). A MATLAB Toolbox to Detect and Analyze Marine Heatwaves. *Journal of Open Source Software*, *4*(33), 1124. https://doi.org/10.21105/joss.01124.