

Analisis Pengaruh ENSO dan IOD Terhadap Evaporasi di Selat Makassar Menggunakan Metode Bowen Ratio

Muhammad Riza¹, Zetsaona Sihotang¹, Nanda Khoirunisa¹, Idris Mandang¹, Mustaid Yusuf¹

¹Laboratorium Oseanografi, Program Studi Geofisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Mulawarman, Samarinda, Kalimantan Timur.

Korespondensi: Muhammad.riza@fmipa.unmul.ac.id

Diterima: 13 Oktober 2025; Direvisi: 18 Oktober 2025; Disetujui: 28 November 2025

Abstrak

Perpindahan panas global sangat penting untuk memahami mekanisme variabilitas iklim dalam skala global. Rasio Bowen dapat digunakan untuk menentukan fluks panas latent pada suatu permukaan. Tujuan penelitian ini adalah untuk Mengidentifikasi variabilitas evaporasi di Selat Makassar menggunakan metode *bowen ratio* dan kaitannya terhadap fenomena ENSO dan IOD dan Mengetahui durasi dari fenomena ENSO (*El Niño Southern Oscillation*) dan IOD (*Indian Ocean Dipole*) terhadap perubahan evaporasi di Selat Makassar. Rasio Bowen dihitung dengan membagi nilai *sensible heat flux* dengan *latent heat flux*. Setelah mendapatkan nilai Rasio Bowen kemudian akan dicari *cross-correlation* diantara Rasio Bowen dan ONI (*Ocean Nino Index*) kemudian ditentukan berapa lama jeda waktu yang diperlukan untuk anomali di Samudera Pasifik berpengaruh ke Selat Makassar. Kemudian *Cross-correlation* dihitung kembali diantara Rasio Bowen dan DMI untuk melihat efek anomali di Samudera Hindia terhadap Selat Makassar. Data *sensible heat flux* dan *latent heat flux* didapatkan dari ECMWF (*European Centre for Medium-Range Weather Forecasts*) dianalisis dari tahun 1990-2022 dan akan dirata-ratakan perbulannya. Didapatkan hasil penurunan Rasion Bowen dari tahun 1990-2022 yang mengindikasikan evaporasi yang semakin rendah. Klimatologi Rasio Bowen menunjukkan evaporasi mengalami 2 kali puncak di bulan April dan November dengan nilai Rasio Bowen berturut-turut 0,133 dan 0,14. Korelasi silang Rasio Bowen dan ONI menunjukkan hubungan yang kuat dimana nilai R sebesar 0,65 dengan lag 2 bulan. Sedangkan korelasi silang Rasio Bowen dan DMI mendapatkan hasil R sebesar 0,13 dengan lag 1 bulan. Dari hasil penelitian ini didapatkan bahwa ENSO menjadi faktor yang memiliki efek besar terhadap evaporasi di Selat Makassar.

Kata kunci: Evaporasi, ENSO, IOD, ONI, DMI, Selat Makassar

Abstract

Global heat transfer is essential for understanding climate variability mechanisms. The Bowen ratio determines latent heat flux on a surface. This study aims to identify evaporation variability in the Makassar Strait using the Bowen ratio method and its relationship with ENSO and IOD. It also examines the duration of ENSO (El Niño-Southern Oscillation) and IOD (Indian Ocean Dipole) effects on evaporation changes in the strait. The Bowen ratio is calculated by dividing sensible heat flux by latent heat flux. A cross-correlation analysis is performed between the Bowen ratio and ONI (Oceanic Niño Index) to determine the time lag for Pacific Ocean anomalies to influence the Makassar Strait. Another cross-correlation analysis is conducted between the Bowen ratio and DMI (Dipole Mode Index) to assess the impact of Indian Ocean anomalies. Sensible and latent heat flux data from ECMWF (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts) are analyzed from 1990 to 2022 and averaged monthly. The results show a decline in the Bowen ratio, indicating decreasing evaporation. The climatology of the Bowen ratio reveals evaporation peaks in April and November, with values of 0.133 and 0.14, respectively. The

Bowen ratio and ONI exhibit a strong correlation ($R = 0.65$) with a two-month lag, while the Bowen ratio and DMI show a weaker correlation ($R = 0.13$) with a one-month lag. These results indicate that ENSO significantly influences evaporation in the Makassar Strait.

Key words: Evaporation, ENSO, IOD, ONI, DMI, Makassar Strait

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara kepulauan yang memiliki banyak pulau besar dan juga pulau kecil yang tersebar di seluruh wilayah. Menurut Undang-Undang no 6 tahun 1996 tentang Perairan Indonesia, terdapat kurang lebih 17.508 pulau di wilayah Indonesia (Martha, 2017; Lasabuda, 2013). Beberapa pulau di Indonesia dihubungkan oleh perairan yang dinamakan dengan selat. Selat memiliki peranan penting salah satunya sebagai penghubung dua pulau maupun penghubung antar samudera (Lasabuda, 2013). Selat Makassar merupakan salah satu penghubung antar samudera, yaitu Samudera Pasifik dan Samudera Hindia (Putra dkk., 2020; Agustinus dkk., 2022). Karakteristik oseanografi di Selat Makassar dominan dipengaruhi oleh Samudera Pasifik melalui sirkulasi Arlindo (Putra dkk., 2020; Agustinus dkk., 2022). Selain dipengaruhi oleh sirkulasi Arlindo, kondisi oseanografi di Selat Makassar juga dipengaruhi oleh interaksi atmosfer dan laut (Zulfa dkk., 2024; Siswanto dkk., 2019; Nur'utami dan Hidayat, 2016).

Interaksi antara laut dan atmosfer terjadi di permukaan laut ditandai dengan adanya perpindahan energi massa, momentum, dan partikel gas (Deike, 2022). Radiasi matahari menyebabkan adanya perbedaan tekanan udara yang mengakibatkan terjadinya perpindahan massa udara dari daerah yang bertekanan tinggi menuju daerah yang bertekanan rendah. Lautan berperan sebagai pensuplai uap air terbesar bagi atmosfer. Penguapan terjadi akibat tidak jenuhnya atmosfer oleh uap dan akibat cukup hangatnya suhu muka laut. Suhu permukaan laut (SPL) memiliki peranan penting dalam interaksi laut dan atmosfer (Samiaji & Nuryadi, 2024). Beberapa proses yang terjadi pada atmosfer seperti pembentukan awan, penguapan, efek angin lokal, perubahan transpor panas dapat menimbulkan variabilitas SPL (Rossow, 2024). Efek variasi dari kehilangan panas latent dari permukaan laut merupakan mekanisme yang penting dalam perubahan SPL. Sedangkan faktor-faktor lain yang memengaruhi SPL pada proses yang terjadi di lautan adalah arus, gelombang, gerakan konveksi, upwelling, divergensi, pembekuan dan pencairan es pada wilayah kutub (Wirasatriya dkk., 2021).

Pertukaran panas latent dan sensibel laut–atmosfer ditegaskan sebagai penggerak utama neraca energi permukaan dan variabilitas iklim lintas skala, dengan estimasi modern yang menggabungkan variabel satelit seperti SPL, angin, dan

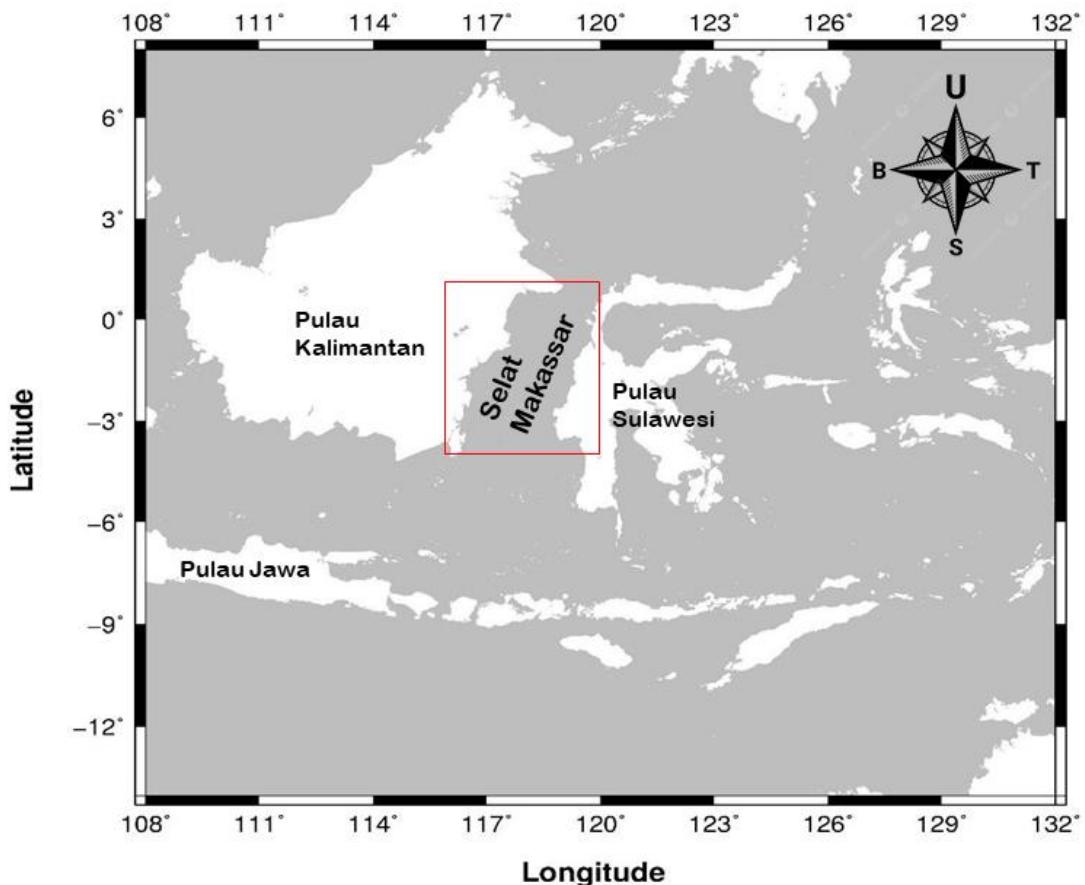
kelembapan dalam skema bulk serta validasi terhadap reanalisis dan observasi in situ (Kang et al., 2024). Temuan interkomparasi menunjukkan sensitivitas besar terhadap pilihan algoritma bulk dan resolusi dataset, sehingga evaluasi multi-produk menjadi perlu terutama di wilayah gradien kuat seperti Arus Batas Barat dan Samudra Selatan (Wu & Zhang, 2024). Pendekatan penginderaan jauh mutakhir dan produk satelit memberikan cakupan spasial yang melengkapi kelangkaan data in situ untuk menaksir fluks panas permukaan secara global, termasuk komponen laten yang terkait kuat dengan presipitasi dan penguapan (Deike, 2022). Selain skema bulk, kerangka *Maximum Entropy Production* yang baru memasukkan efek penyimpanan panas samudra dan penyesuaian Rasio Bowen guna meningkatkan konsistensi penutupan neraca energi permukaan dan menghasilkan dataset global yang terbuka untuk periode multi-dekade (Yang et al., 2025).

Tursilowati (2007) melakukan penelitian mengenai metode estimasi fluks panas laten dari Radiative *Bowen Ratio* menggunakan data dari Satelit Landsat pada skala regional di Balikpapan. Diperoleh sebaran fluks panas laten memiliki kemiripan dengan distribusi evapotranspirasi di wilayah tersebut. Apabila nilai fluks panas laten tinggi maka nilai evapotranspirasinya juga tinggi, demikian juga berlaku sebaliknya apabila fluks panas laten rendah maka nilai evapotranspirasinya juga rendah. Dapat disimpulkan bahwa distribusi evapotranspirasi berbanding lurus dengan distribusi fluks panas laten.

Pada penelitian ini akan dilakukan analisis *bowen ratio* untuk mengidentifikasi pengaruh *El Nino-Southern Oscillation* (ENSO) dan *Indian Ocean Dipole* (IOD) untuk mengkaji perubahan evaporasi yang terjadi di Selat Makassar. Data yang akan digunakan dalam penelitian ini berasal dari data satelit *European Centre for Medium-Range Weather Forecasts* (ECMWF). Data yang digunakan adalah data suhu permukaan laut selama 32 tahun, yaitu tahun 1990 sampai tahun 2022. Sehingga hasil penelitian ini diharapkan dapat menunjukkan perubahan evaporasi dalam beberapa tahun terakhir di Selat Makassar.

METODE PENELITIAN

Lokasi penelitian bertempat di Selat Makassar yang bisa dilihat pada Gambar 1 dengan letak geografis berada pada koordinat $03^{\circ} 53' 10''$ LS – $01^{\circ} 00' 38''$ LU dan $116^{\circ} 35' 12''$ BT – $129^{\circ} 58' 14''$ BT.



Gambar 1. Lokasi Penelitian Selat Makassar

Pada penelitian ini menggunakan data *Surface sensible heat flux*, *Surface latent heat flux*, *Land Sea Masking*, *Dipole Mode Index* (DMI), dan *Ocean Nino Index* (ONI) yang diperoleh dari *European Centre for Medium-Range Weather Forecasts* (ECMWF). *Bowen ratio* yang didapat akan dihitung menggunakan persamaan 1 kemudian hasilnya akan dianalisis untuk melihat efek anomali yang terjadi di Samudera Hindia dan di Samudera Pasifik terhadap lautan di Selat Makassar. Data yang akan dianalisis dari tahun 1990-2021 dan akan dihitung per 3 jam. Bowen (1926) menuliskan *Bowen ratio* dan dimodifikasi oleh Savage dkk.(2009), Chunkao (1971), Dicken dkk. (2013), Holland dkk. (2013), Peres dkk. (1999),

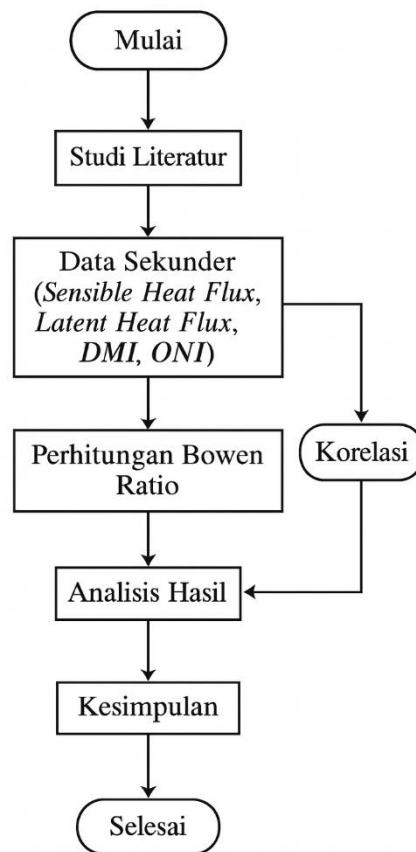
Uddin dkk.(2013), Wolf dkk. (2008), and Takebyashi dkk. (2014) sebagai berikut:

$$Bowen\ Ratio = \frac{Sensible\ Heat\ Flux}{Latent\ Heat\ Flux} \quad \dots \dots \dots (1)$$

Setelah mendapatkan nilai *Bowen ratio* kemudian akan dicari *cross-correlation* diantara *Bowen Ratio* dan ONI kemudian ditentukan berapa lama jeda waktu yang

diperlukan untuk anomali di Samudera Pasifik berpengaruh ke Selat Makassar. Kemudian *Cross-correlation* dihitung kembali diantara *Bowen ratio* dan DMI untuk melihat efek anomali di Samudera Hindia terhadap Selat Makassar.

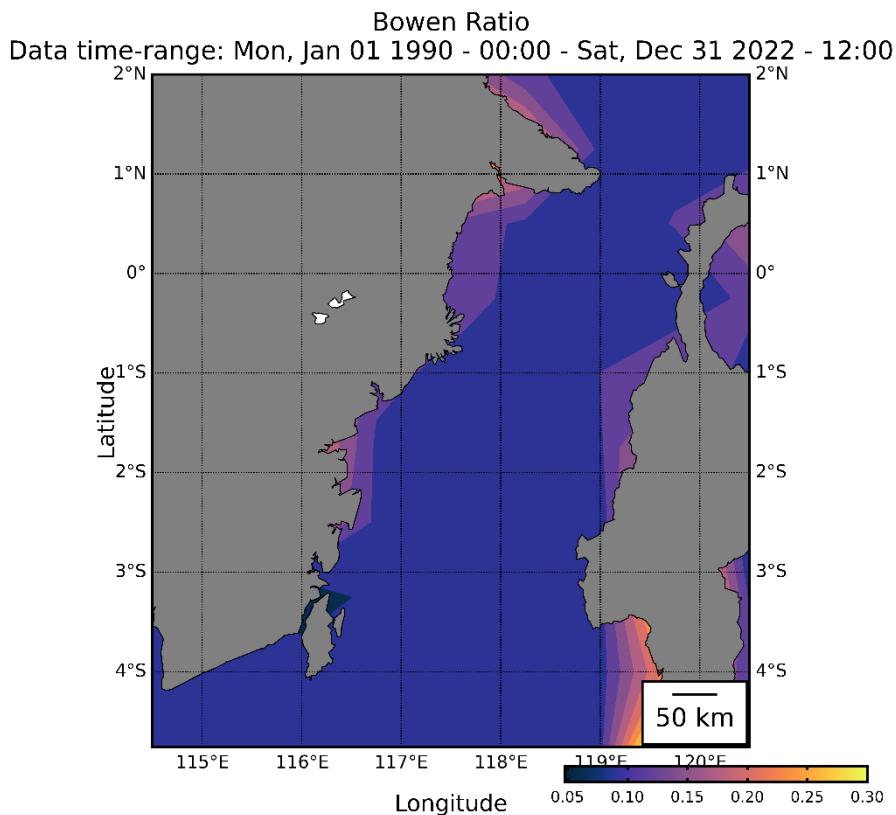
Analisis regresi menunjukkan penurunan rasio bowen dari tahun 1990-2022 yang mengindikasikan evaporasi yang semakin rendah. Hal ini dapat berpengaruh pada intensitas curah hujan di daerah yang berdekatan dengan Selat Makassar. Penelitian (Malino dkk., 2014) menyebutkan bahwa frekuensi hari hujan dengan intensitas lebat di Kota Makassar menunjukkan pola kecendrungan yang menurun setiap tahunnya.



Gambar 2. Diagram alir penelitian

Korelasi silang Rasio Bowen dan ONI menunjukkan hubungan yang kuat dimana nilai R sebesar -0,503 dengan lag 1 bulan dan -0,65 dengan lag 2 bulan. Tanda minus menunjukkan rasio bowen akan bernilai tinggi ketika kejadian La Nina kuat. Sedangkan pada kejadian IOD korelasi silang menunjukkan nilai R yang lebih kecil yaitu sebesar 0,13. Dari hasil penelitian ini didapatkan bahwa ENSO menjadi faktor yang memiliki efek besar terhadap evaporasi di Selat Makassar.

HASIL DAN PEMBAHASAN



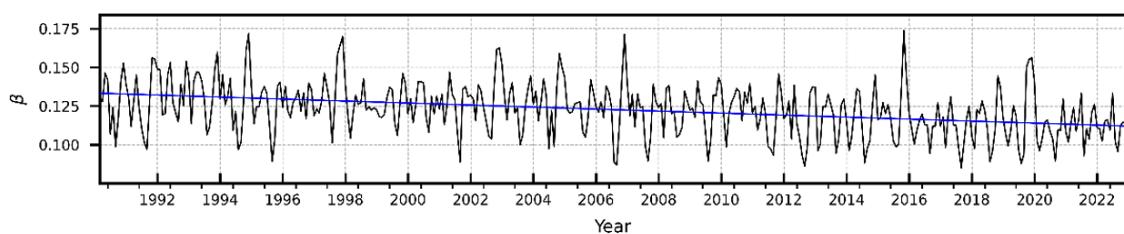
Gambar 3. Peta *Bowen Ratio* 1990-2022

Gambar 3 menunjukkan *bowen ratio* spasial di Selat Makassar yang menunjukkan rata-rata nilai yang sama yaitu sebesar 0,01. Gambar 4.1 menunjukkan sebaran spasial dari *Bowen ratio* yang telah dirata-ratakan dari tahun 1990-2022. Hasil ini konsisten dengan studi terbaru yang menunjukkan bahwa *Bowen ratio* di perairan tropis umumnya memiliki nilai rendah, dengan *latent heat flux* yang mendominasi dibandingkan *sensible heat flux* di permukaan laut (Yang dkk., 2025). Penelitian global terhadap air-sea heat flux menunjukkan bahwa nilai rendah ini mencerminkan kondisi khas perairan tropis dengan kelembaban tinggi dan perbedaan suhu udara-laut yang relatif kecil (Yang dkk., 2025).

Perbedaan nilai didapatkan di perairan dekat pulau Kalimantan dan pulau Sulawesi sebesar $>0,12$. Hal ini menunjukkan bahwa daerah pesisir memiliki *Bowen ratio* yang lebih tinggi dibandingkan laut dalam. Temuan ini sejalan dengan penelitian terbaru mengenai variabilitas heat flux di perairan pesisir yang menunjukkan zona coastal memiliki karakteristik yang berbeda dibandingkan perairan terbuka (Wu & Zhang, 2024). Studi komprehensif tentang *near-surface ocean temperature* dan air-sea heat flux di South China Sea menunjukkan bahwa *Bowen ratio* di daerah pesisir dapat bervariasi

bergantung pada kondisi meteorologi lokal dan perbedaan suhu permukaan (Wu & Zhang, 2024).

Variabilitas spasial *Bowen ratio* ini terkait dengan perbedaan karakteristik massa air antara perairan pesisir dan laut dalam. *Framework* terbaru untuk estimasi *Bowen ratio over small water bodies* menunjukkan pentingnya mempertimbangkan kondisi aliran permukaan dan variabilitas angin dalam perhitungan (Yang dkk., 2025). Penelitian terbaru di Northwestern Pacific juga mengkonfirmasi adanya perbedaan signifikan dalam *latent heat flux* antara perairan coastal dan open ocean, dengan kondisi coastal waters menunjukkan variabilitas yang lebih tinggi (Kang dkk., 2024).



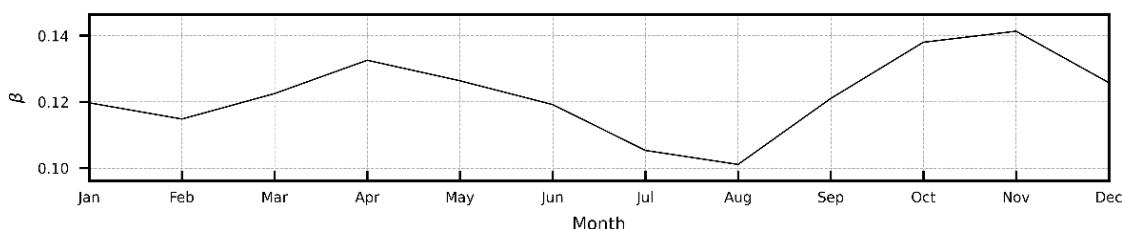
Gambar 4. *Times series bowen ratio* dari tahun 1990-2022

Terjadinya anomali rasio Bowen pada kejadian ENSO dilihat ketika nilai rasio Bowen lebih dari 0,15 (Gambar 4) yang merujuk pada kejadian La Nina. Temuan ini sejalan dengan penelitian terbaru yang menunjukkan bahwa kondisi La Nina memiliki dampak yang lebih dominan terhadap variabilitas iklim di perairan Indonesia dibandingkan dengan El Nino (Iwakiri dkk., 2023). Studi komprehensif mengenai *triple-dip* La Nina periode 2020-2023 mengkonfirmasi bahwa kondisi La Nina yang berkepanjangan menghasilkan pola anomali atmosfer yang lebih persisten, termasuk perubahan pada pola evaporasi regional (Iwakiri dkk., 2023).

Sedangkan pada kejadian IOD nilai rasio Bowen tidak mengalami lonjakan yang signifikan. Hal ini konsisten dengan penelitian terbaru yang menunjukkan bahwa pengaruh IOD terhadap pembentukan *marine heatwaves* di perairan Indonesia signifikan lebih lemah dibandingkan ENSO, dengan hanya 1-3 kejadian *marine heatwave* yang tercatat under isolated IOD *influence* selama periode 40 tahun (Ningsih dkk., 2025). Studi lain juga mengkonfirmasi bahwa dominasi pengaruh ENSO lebih kuat dibandingkan IOD terhadap variabilitas iklim di Perairan Indonesia (Ningsih dkk., 2025). Analisis regresi menunjukkan penurunan rasio Bowen dari tahun 1990-2022 yang mengindikasikan evaporasi yang semakin rendah. Hal ini dapat berpengaruh pada intensitas curah hujan di daerah yang berdekatan dengan Selat Makassar. Penelitian terbaru tentang parameter curah hujan di Kota Makassar menunjukkan bahwa meskipun terjadi peningkatan curah hujan tahunan sebesar 8.2 mm/tahun, frekuensi hujan

intensitas berat mengalami penurunan selama periode 1991-2020 (Malino dkk., 2021). *Data climate change severity* terkini menunjukkan bahwa Makassar mengalami penurunan hari hujan sebesar 13.2% selama periode 2010-2025, yang konsisten dengan tren penurunan evaporasi yang diamati (Kirono & Taylor, 2014).

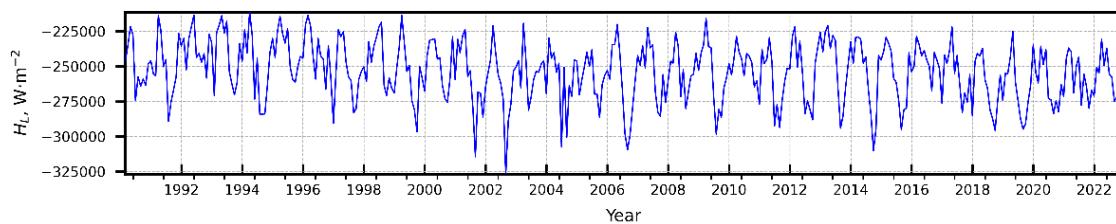
Lamanya pengaruh ENSO terhadap perubahan nilai evaporasi bergantung dari nilai ONI di 1 sampai 2 bulan setelahnya. Lag terjadi karena jarak Selat Makassar dan Samudera Pasifik sehingga memerlukan waktu untuk terjadinya perubahan pada nilai *Bowen ratio*. Studi terbaru mengenai ENSO dan IOD *influence on extreme rainfall in Indonesia* mengkonfirmasi bahwa *teleconnection patterns* menunjukkan *lag time* yang bervariasi secara spasial, dengan respon yang lebih cepat terjadi di wilayah yang lebih dekat dengan sumber anomali (Le dkk., 2020). Penelitian lain menunjukkan bahwa perubahan perilaku ENSO akibat perubahan iklim dapat memengaruhi pola waktu jeda (*lag time*) dan intensitas respons di tingkat regional. (NOAA Climate Prediction Center, 2025).



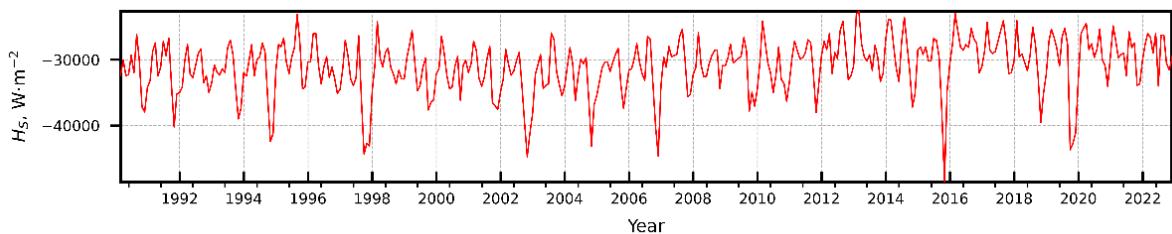
Gambar 5. Klimatologi *Bowen Ratio* tahun 1990-2022

Klimatologi *Bowen ratio* di Selat Makassar (Gambar 5) menunjukkan pengaruh musim terhadap variasi *Bowen ratio*. Grafik tersebut mengungkap dua puncak peningkatan *Bowen ratio* pada bulan April dan November, yang bertepatan dengan musim barat dan musim peralihan I, sehingga evaporasi meningkat pada periode tersebut. Nilai *Bowen ratio* terendah terjadi pada bulan Agustus, saat musim timur berlangsung, yang menghasilkan evapotasi relatif lebih rendah.

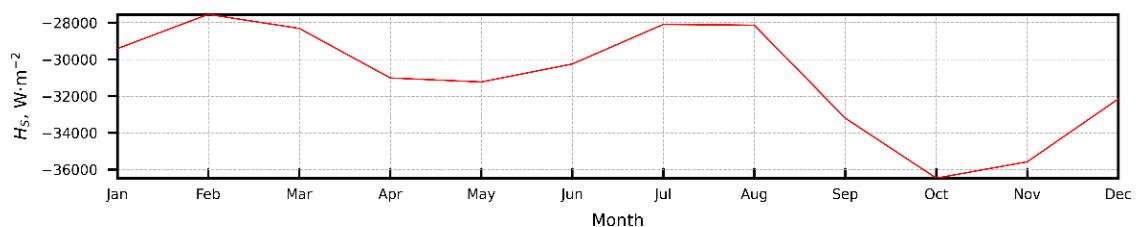
Analisis korelasi silang antara *Bowen ratio* dan ENSO menunjukkan hubungan negatif yang kuat, dengan koefisien $R = -0,403$ pada lag 1 bulan dan $R = -0,650$ pada lag 2 bulan, yang mengindikasikan bahwa *Bowen ratio* meningkat selama kejadian La Niña yang kuat (Iwakiri dkk., 2023). Sebaliknya, korelasi silang dengan IOD memberikan nilai $R = 0,130$, menunjukkan pengaruh IOD yang jauh lebih lemah terhadap *Bowen ratio* (Ningsih dkk., 2025). Temuan ini menegaskan bahwa ENSO merupakan faktor utama yang memengaruhi evapotasi di Selat Makassar (Le dkk., 2020).

Gambar 6. *Time-Series Latent Heat Flux* dari tahun 1990-2022

Gambar 6 memperlihatkan bahwa pengaruh ENSO dan IOD tidak secara langsung tercermin pada nilai *Latent Heat Flux*. Besaran *Latent Heat Flux*, yang mencerminkan energi yang berpindah dari permukaan laut ke atmosfer melalui evaporasi dan transpirasi, mengalami fluktuasi sesuai dengan siklus musiman. Pada Gambar 7 dijelaskan bahwa selama musim barat, *Latent Heat Flux* meningkat akibat peningkatan evaporasi, sedangkan pada musim timur terjadi penurunan *Latent Heat Flux* seiring menurunnya evaporasi (Kang dkk., 2024).

Gambar 7. *Time-Series Sensible Heat Flux* dari tahun 1990-2022

Sensible Heat Flux di Selat Makassar (Gambar 7), yang mencerminkan aliran energi panas akibat perubahan suhu, menunjukkan pola anomali yang selaras dengan anomali ENSO di Samudera Pasifik. Penelitian terbaru mengungkap bahwa selama fase La Niña yang kuat, *Sensible Heat Flux* mengalami penurunan signifikan (Iwakiri dkk., 2023; Kang dkk., 2024). Kondisi ini menegaskan bahwa kejadian La Niña berdampak besar terhadap penurunan nilai *Sensible Heat Flux* di Selat Makassar.

Gambar 8. Klimatologi *Sensible Heat Flux* tahun 1990-2022

Klimatologi *Sensible Heat Flux* di Selat Makassar menunjukkan pengaruh musiman yang jelas, di mana pada musim barat (Gambar 8) *Sensible Heat Flux* mengalami penurunan, kemudian kembali meningkat selama musim peralihan I hingga musim timur.

Dari penelitian ini secara komprehensif telah membuktikan bahwa variabilitas ENSO dan IOD memainkan peran krusial dalam mengatur evaporasi di Selat Makassar melalui perubahan *Bowen ratio* dan fluks panas latent maupun sensible. Korelasi silang dan analisis spasial mengungkapkan bahwa La Niña memicu lonjakan *Bowen ratio* dan penurunan sensible heat flux, sedangkan pengaruh IOD relatif lebih lemah dan tidak memunculkan anomali signifikan. Pola musiman juga menegaskan bahwa puncak evaporasi terjadi pada musim barat dan musim peralihan I, sedangkan musim timur menandai titik terendah evaporasi. Tren penurunan jangka panjang *Bowen ratio* mengindikasikan kecenderungan evaporasi menurun sejak 1990, yang berimplikasi pada penurunan intensitas curah hujan di wilayah pesisir sekitar Selat Makassar. Dengan demikian, penelitian ini berhasil mencapai tujuan awal, yaitu mengidentifikasi dan menganalisis pengaruh ENSO, IOD, dan faktor musiman terhadap evaporasi, serta menggambarkan implikasi klimatologisnya bagi dinamika iklim regional di sekitar Selat Makassar.

KESIMPULAN

Nilai rata-rata *Bowen ratio* yang terjadi pada tahun 1990-2022 mengalami tren menurun dari 0.134 ke 0.115. Korelasi silang yang didapat antara kejadian ENSO dan perubahan rasio bowen memiliki hubungan yang kuat. Hal ini menunjukkan bahwa ketika kejadian La Nina terjadi maka evaporasi meningkat dan sebaliknya ketika kejadian El Nino maka evaporasi menurun. Terdapat lag antara kejadian Enso dan perubahan nilai rasio bowen yang mengindikasikan bahwa peningkatan dan penurunan evaporasi terjadi setelah beberapa saat setelah kejadian ENSO.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini didanai dan disupport oleh Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Mulawarman melalui PBNP 2023.

REFERENSI

- Agustinus, A., Pranowo, W. S., Nurhidayat, N., Asmoro, N. W., & Hendra, H. (2022). Karakteristik suhu dan salinitas di Selat Makassar berdasarkan data CTD cruise Arlindo 2005 dan Timit 2015. *Jurnal Chart Datum*, 8(2), 107–116.

- Bowen, I. S. (1926). The ratio of heat losses by conduction and by evaporation from any water surface. *Physical Review*, 27, 779–783.
- Chunkao, K. (1971). An analysis of evapotranspiration of dry-evergreen forest at Sakareat, Thailand. *KU Forest Research Bulletin*, 16.
- Deike, L. (2022). Mass transfer at the ocean–atmosphere interface. *Annual Review of Fluid Mechanics*, 54, 191–224.
- Dicken, U., Cohen, S., & Tanny, J. (2013). Examination of the Bowen ratio energy balance technique for evapotranspiration estimates in screen houses. *Biosystems Engineering*, 114, 397–405.
- Holland, S., Heitman, J. L., Howard, A., Sauer, T. J., Giese, W., Ben-Gal, A., Agam, N., Kool, D., & Havlin, J. (2013). Micro-Bowen ratio system for measuring evapotranspiration in a vineyard interrow. *Agricultural and Forest Meteorology*, 177, 93–100.
- Iwakiri, T., Imada, Y., Takaya, Y., Kataoka, T., Tatebe, H., & Watanabe, M. (2023). Triple-dip La Niña in 2020–23: North Pacific atmosphere drives 2nd year La Niña. *Geophysical Research Letters*, 50, e2023GL105763.
- Kang, S. K., Kim, E. J., Kim, S., Cione, J., Lee, D., Landwehr, S., Kang, H.-W., Kim, K.-O., Hong, C. S., Kwon, M. H., Oh, K.-H., Lee, J. H., Noh, S., So, J. K., Kang, D.-J., Kim, D., Park, J.-H., Nam, S., Cho, Y. K., Ward, B., & Ginis, I. (2024). Anomalously large latent heat fluxes in low to moderate wind conditions within the eddy-rich zone of the Northwestern Pacific. *Frontiers in Marine Science*, 11, 1298641.
- Kirono, D., & Taylor, J. (2014). Current and future climate of Makassar. CSIRO–AusAID Research for Development Alliance, Climate Adaptation through Sustainable Urban Development Research Project.
- Lasabuda, R. (2013). Pembangunan wilayah pesisir dan lautan dalam perspektif negara kepulauan Republik Indonesia. *Jurnal Ilmiah Platax*, 1(2), 92–101.
- Le, T. P. N., Sahoo, A. K., Zeng, Y., Pan, M., Wood, E. F., Hain, C. R., & Anderson, M. C. (2020). Response of global evaporation to major climate modes in a multi-model ensemble. *Hydrology and Earth System Sciences*, 24(3), 1131–1150.
- Malino, C. R., Arsyad, M., & Palloan, P. (2021). Analysis of rainfall and air temperature parameters in Makassar City related to climate change. *Jurnal Sains dan Pendidikan Fisika*, 17(2), 139–145.
- Martha, S. (2017). The analysis of geospatial information for validating some numbers of islands in Indonesia. *Indonesian Journal of Geography*, 49(2), 204–211.
- 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.
- NOAA Climate Prediction Center. (2025). *ENSO diagnostic discussion: October 2025*. NOAA.
- Nur'utami, M. N., & Hidayat, R. (2016). Influences of IOD and ENSO to Indonesian rainfall variability: Role of atmosphere-ocean interaction in the Indo-Pacific sector. *Procedia Environmental Sciences*, 33, 196–203.
- Peres, P. J., Castellvi, F., Ibanez, M., & Rosell, J. I. (1999). Assessment of reliability of Bowen ratio method for partitioning fluxes. *Agricultural and Forest Meteorology*, 97, 141–150.

- Putra, T. W. L., Kunarso, A., & Kusumaningtyas, A. R. T. D. (2020). Distribusi suhu, salinitas, dan densitas di lapisan homogen dan termoklin perairan Selat Makassar. *Indonesian Journal of Oceanography*, 2(2), 188-198.
- Rossow, W. B. (2024). Evolution of the concept of cloud–climate feedbacks. *Journal of the European Meteorological Society*, 1, 100004.
- Samiaji, B. I., & Nuryadi, A. (2024). A systematic literature review: Heat flux and its relation to sea surface temperature variability. *Journal of Climate Change Society*, 2(2), 111–119.
- Savage, M. J., Everson, C. S., & Metelerkamp, B. R. (2009). Bowen ratio evaporation measurement in a remote montane grassland: Data integrity and flux. *Journal of Hydrology*, 376, 249–260.
- Siswanto, S., Kusmanto, E., & Rahayu, S. P. (2019). Air–sea interaction mechanisms in the generation of persistence low pressure area over the eastern Indian Ocean southwest Sumatera observed during the Indonesia PRIMA 2017 field campaign. *Jurnal Meteorologi dan Geofisika*, 19(1), 39–48.
- Takebayashi, H., Kimura, Y., & Kyogoku, S. (2014). Study on the appropriate selection of urban heat island measure technologies to urban block properties. *Sustainable Cities and Society*, 13, 217–222.
- Tursilowati, L. (2007). Metode estimasi latent heat flux dari radiative Bowen ratio dari data satelit Landsat. Dalam L. Tursilowati dkk (Ed.), *Sains atmosfer & iklim, sains antariksa serta pemanfaatannya* (hlm. 77–83). LAPAN.
- Uddin, J., Hancock, N. H., Smith, R. J., & Foley, J. P. (2013). Measurement of evapotranspiration during sprinkler irrigation using a precision energy budget (Bowen ratio, eddy covariance) methodology. *Agricultural Water Management*, 116, 89–100.
- Wu, Z., & Zhang, H. (2024). Near-surface ocean temperature and air-sea heat flux observed by a buoy array during summer to autumn in year 2014 in the northern South China Sea. *Frontiers in Marine Science*, 11, 1457829.
- Wirasatriya, A., Kunarso, A., Ismunarti, D. H., & Hovaldo, C. B. (2021). *Buku ajar interaksi atmosfer & laut*. Semarang: Tiga Media.
- Wirasatriya, A., Susanto, R. D., Kunarso, K., Jalil, A. R., Ramdani, F., & Puryajati, A. D. (2021). Northwest monsoon upwelling within the Indonesian seas. *International Journal of Remote Sensing*, 42(14), 5437–5458.
- Wolf, A., Saliendra, N., Akshalov, K., Johnson, D. A., & Laca, E. (2008). Effects of different eddy covariance correction schemes on energy balance closure and comparisons with the modified Bowen ratio system. *Agricultural and Forest Meteorology*, 148(6–7), 942–952.
- Yang, Y., Sun, H., Wang, J., Zhang, W., Zhao, G., Wang, W., Cheng, L., Chen, L., Qin, H., & Cai, Z. (2025). Global ocean surface heat fluxes derived from the maximum entropy production framework accounting for ocean heat storage and Bowen ratio adjustments. *Earth System Science Data*, 17(3), 1191–1216.
- Zulfa, I. N., Wirasatriya, A., & Ismanto, A. (2024). Kajian spasial dan temporal klorofil-a di Selat Makassar: Variasi musiman dan antar tahunan. *Buletin Oseanografi Marina*, 13(3), 311–326.