

# Systematic Literature Review: Heat Flux and Its Relation to Sea Surface Temperature Variability

## CORRESPONDENCE

Email : budi.sami-  
aji@gmail.com  
Phone : 081266702079

## ARTICLE INFORMATION

DOI :  
10.24036/jccs/Vol2-iss2/37  
Page : 111 - 119

Received : Nov 20, 2024  
Revised : Nov 29, 2024  
Accepted : Nov 30, 2024

Budi Iman Samiaji<sup>1\*</sup>, Ari Nuryadi<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> The Agency For Meteorology, Climatology, and Geophysics of The Republic of Indonesia, Padang, West Sumatera.

## ABSTRACT

*Heat flow patterns or heat flux play an important role in sea surface temperature (SST) variability and this is very important for understanding the dynamics of climate and marine ecosystems. Heat flow between the atmosphere and ocean can influence ocean circulation patterns, climate variability, and phenomena such as marine heat waves. The aim of this paper is to find out how heat flow patterns or heat flux influence sea surface temperature variability, marine ecology and extreme weather. Using a literature review methodology. It is hoped that from reviewing journals we can find out how heat flows influence sea surface temperature variability and marine ecology and extreme weather. Heat flow between the atmosphere and the ocean has a significant influence on sea surface temperature variability, especially in regions such as the Indian Ocean. Marine heat waves and changes in ocean heat content are clear examples of how heat flows can significantly influence sea surface temperatures. In addition, the influence of long-term heat flow patterns can influence the distribution of species in the sea*

KEYWORDS : Suhu Muka Laut, Aliran Panas, Dinamika Atmosfer, Sirkulasi Laut



This is an open access article distributed under the Creative Commons 4.0 Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited. ©2023 by author and Universitas Negeri Padang.

## INTRODUCTION

Heat flux, atau aliran panas, adalah ukuran transfer energi panas per unit waktu melalui suatu area. Dalam konteks atmosfer dan laut, heat flux menggambarkan bagaimana energi dari sinar matahari diserap oleh permukaan laut dan kemudian dipindahkan ke atmosfer. Aliran panas ini dapat terjadi melalui berbagai mekanisme, termasuk konveksi, konduksi, dan radiasi.

Interaksi antara atmosfer dan lautan melibatkan berbagai mekanisme fisik, termasuk konveksi, evaporasi, dan radiasi. Ketika energi matahari mengenai permukaan laut, sebagian besar energi tersebut diserap, yang menyebabkan peningkatan suhu air dan memicu proses evaporasi yang menghasilkan uap air. Uap ini berkontribusi pada pembentukan awan dan sistem cuaca, serta mempengaruhi pola curah hujan. Menurut sebuah studi oleh (Song et al., 2021).

Mekanisme Heat Flux:

- Konveksi: Ini adalah proses di mana panas dipindahkan melalui pergerakan fluida. Di lautan, air yang lebih hangat akan naik ke permukaan, sementara air yang lebih dingin akan tenggelam, menciptakan sirkulasi yang memfasilitasi transfer energi.

- Evaporasi: Ketika air di permukaan laut memanas, ia akan menguap, mengubah energi panas menjadi energi laten. Proses ini tidak hanya memindahkan panas dari lautan ke atmosfer tetapi juga meningkatkan kelembapan udara, yang dapat mempengaruhi pola cuaca.

- Radiasi: Energi yang dipancarkan oleh permukaan laut dalam bentuk radiasi inframerah juga berkontribusi pada heat flux. Proses ini terjadi ketika suhu permukaan laut lebih tinggi daripada suhu atmosfer di atasnya.

Interaksi antara atmosfer dan laut sangat kompleks dan saling memengaruhi. Lautan menyerap sekitar 90% dari panas yang ditangkap oleh atmosfer, dan proses ini menciptakan umpan balik yang memengaruhi iklim global. Beberapa aspek penting dari interaksi ini meliputi:

- Sirkulasi Atmosfer: Aliran panas dari laut ke atmosfer memengaruhi pola sirkulasi atmosfer. Misalnya, pemanasan laut dapat menyebabkan pembentukan sistem tekanan rendah yang berkontribusi pada hujan dan badai.

- Perubahan Iklim: Perubahan dalam heat flux dapat berdampak besar pada perubahan iklim. Peningkatan suhu lautan dapat memperkuat fenomena seperti El Niño dan La Niña, yang memiliki konsekuensi serius terhadap pola cuaca global.

- Dampak pada Ekosistem: Interaksi atmosfer-laut juga memengaruhi ekosistem laut. Perubahan suhu dan pola curah hujan dapat memengaruhi habitat dan migrasi spesies laut, serta produktivitas primer di lautan.

Pemahaman tentang heat flux dan interaksi atmosfer-laut sangat penting dalam penelitian iklim. Dengan mempelajari aliran panas ini, ilmuwan dapat mengembangkan model yang lebih akurat untuk memprediksi perubahan iklim, memahami variabilitas cuaca, dan merencanakan strategi mitigasi untuk dampak negatif yang mungkin terjadi.

## METHODS

Metode yang digunakan adalah Systematic Literature Review atau SLR. Systematic Literature Review (SLR) didefinisikan sebagai proses mengidentifikasi, menilai dan menafsirkan semua bukti penelitian yang tersedia dengan tujuan untuk menyediakan jawaban untuk pertanyaan penelitian secara spesifik. Fungsi dari teknik analisis data Systematic Literature Review adalah melakukan sintesis sekaligus pendalaman dari berbagai hasil penelitian yang relevan. Dengan demikian fakta yang disajikan dalam hasil sintesa akan sangat bermanfaat untuk decision-maker sebagai pijakan keluaran kebijakan.

Systematic Literature Review (SLR) melalui metode PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-analysis) dengan menggunakan empat tahap, yaitu identifikasi, skrining, kelayakan dan hasil yang diterima. Literature yang digunakan untuk Systematic Literature Review (SLR) diperoleh dengan cara menelusuri database elektronik secara online dari ResearchGate, Open Access Journal, Scopus dan Google Scholar.

### 1. Research Question (Pertanyaan Penelitian)

Research question (pertanyaan penelitian) diajukan sesuai dengan kebutuhan terkait dengan tema penelitian. Terdapat tiga pertanyaan penelitian yang menjadi fokus di dalam penelitian ini, diantaranya yaitu:

RQ1: Bagaimana interaksi antara aliran panas atau heat flux mempengaruhi variabilitas suhu muka laut di Samudera Hindia ?

RQ2: Apa peranan aliran panas atau heat flux terhadap suhu muka laut dalam jangka panjang khususnya terkait ekosistem laut?

RQ3: Sejauh mana heat flux atau aliran panas dapat memicu cuaca ekstrim seperti siklon tropis ?

## 2. Search Process atau Proses Pencarian

Tahap kedua setelah research question, dan dilanjutkan dengan tahap search process yaitu tahap mencari sumber/literature yang disesuaikan dengan pertanyaan penelitian. Pada tahapan search process dilakukan penelusuran melalui ScienceDirect.com, elsevier, googlescholar

RQ1: Bagaimana interaksi antara aliran panas atau heat flux mempengaruhi variabilitas suhu muka laut di Samudera Hindia ?

RQ2: Apa peranan aliran panas atau heat flux terhadap suhu muka laut dalam jangka panjang khususnya terkait ekosistem laut?

RQ3: Sejauh mana heat flux atau aliran panas dapat memicu cuaca ekstrim seperti siklon tropis ?

dengan pertanyaan- pertanyaan diatas diharapkan dihasilkan jurnal- jurnal yang berkualitas.

## 3. Tahap Data Collection

Tahap berikutnya adalah melakukan pengumpulan data - data yang dibutuhkan dengan tahap sebagai berikut :

- a. Mencari di halaman sciencedirect , openaccess journal, elsevier dan google Scholar dengan kata kunci menggunakan bahasa inggris ; Sea surface temperature, Atmosphere Dinamic, heat flux, ocean circulation
- b. Melakukan pencarian prompt dengan kata " How does the interaction between heat fluxes affect sea surface temperature variability in the Indian Ocean? ", What role does heat flux play in long-term sea level temperatures, especially in relation to marine ecosystems?, To what extent can heat flux trigger extreme weather such as tropical cyclones?
- c. Melakukan filter dengan kriteria sebagai berikut :
  - Tahun jurnal: 2019 - 2024
  - Citation : minimal diatas 4
  - Top tier Journal minimal Q4 scopus
  - Bidang ilmu : Lingkungan, Atmosfer, fisika , sains
  - Bahasa : Inggris dan Indonesia

## 4. Tahap Analisis

Tahap ini dilakukan analisis tulisan dengan membaca abstrak, dan mencari beberapa kriteria menggunakan Artificial Intelligence yang mencakup :

- a. Analisis Abstrak
  - dari tinjauan abstrak untuk mendapatkan gambaran umum tentang tujuan, metodologi dan hasil utama dari jurnal yang dicari
- b. Analisis Research Question
  - Menganalisis pertanyaan penulis melalui Research Question dan keterkaitan dengan hasil penelitian yang dihasil dari jurnal - jurnal yang dicari.
- c. Metodologi

Metodologi yang digunakan dalam penelitian dalam jurnal apakah sesuai dengan bidang studi dalam hal ini penulis menyesuaikan metodologi yang digunakan harus bersesuaian dengan bidang ilmu sains, atmosfer dan lingkungan.

d. Dataset

Data data yang digunakan dalam penelitian jurnal tersebut harus sesuai dengan bidang yang diteliti yaitu variabilitas suhu muka laut

e. Implikasi

Apakah jurnal yang direview menjelaskan hubungan aliran panas atau heat flux terhadap variabilitas suhu muka laut secara logis

Apakah jurnal yang ditulis membandingkan dengan penelitian sebelumnya, apakah ada keterkaitan dengan penelitian sebelumnya atau bertentangan dengan penelitian sebelumnya

f. Hasil dan Kesimpulan

apakah hasil yang didapat sesuai dengan research question yang diajukan penulis

#### 5. Tahap Pemilihan Jurnal

Setelah melakukan tahapan - tahapan analisis diatas maka dilakukan pemilihan jurnal yang berkesesuaian dengan research question serta konsistensi metodologi dan hasil.

## RESULTS AND DISCUSSION

### Results

Dari tahapan- tahapan diatas dihasilkan sebagai berikut :

1. Tahap Pencarian dengan kata kunci dan prompt. Dihasilkan 120 tulisan/Jurnal

disini jurnal yang didapat masih terdapat bidang ekonomi, sosial dan politik serta masih terdapat jurnal yang dibawah tahun 2019, jurnal tanpa citasi

2. Tahap Data Koleksi dihasilkan sekitar 70 jurnal

Dalam tahap ini masih ditemukan jurnal yang belum terkait dengan variabilitas suhu muka laut, seperti masih terkait antara aliran panas terhadap jenis bangunan, pola tanam

3. Tahap Analisis dihasilkan 31 Jurnal.

Dimana pada tahap ini jurnal yang didapat sudah sesuai dengan pertanyaan penelitian atau research question

Berikut tabel hasil pencarian jurnal :

Citasi	Minimal : 4 Citasi Maks : 36 Citasi
Year	2023 : 3Jurnal 2022 : 11 Jurnal 2021 : 11 Jurnal

	2020 : 6 Jurnal 2019 : 3 Jurnal
Subject	Atmosphere Physic environmental
Source	ScintDirect/elsevier Open Journal Bulletin American Meteorological Society Journal Geophysical Research Springer Open MDPI (Multidisciplinary Digital Publishing )
Lokasi	Samudera Hindia dan Pasifik
Negara/ wilayah Peneliti	China (3) Eropa (5) Amerika Serikat ( 5) Asia Tenggara/ Indonesia ( 2 ) India ( 2)
Rank	Springer Open ( Earth and Planetary Science ) nilai 76 3 artikel MDPI ( Multidisciplinary Digital Publishing ) Climate nilai 47 4 artikel American Meteorology Society nilai 49 jumlah 2 Artikel
Q1 " How does the interaction between heat fluxes affect sea surface temperature variability in the Indian Ocean? "	10 jurnal
Q2 What role does heat flux play in long-term sea level temperatures, especially in relation to marine ecosystems?,	10 jurnal
Q3 To what extent can heat flux trigger extreme weather such as tropical cyclones?	11 jurnal

## Discussion

### 1. Aliran Melalui dan Arus Laut Indonesia

ITF atau Indonesia Through Flow memainkan peran penting dalam mengangkut air hangat dari Pasifik ke Samudra Hindia, mempengaruhi variabilitas SST. Perubahan dinamika ITF, seperti peristiwa penyempitan, secara historis menyebabkan fluktuasi SST yang signifikan, sebagaimana dibuktikan oleh peristiwa pendinginan selama zaman Pliosen dan Pleistosen (Smith et al., 2020)

Studi terbaru menunjukkan bahwa pengurangan ekspor panas meridional telah berkontribusi pada pemanasan cepat Samudra Hindia sejak tahun 2000. Pemanasan ini terkait dengan peningkatan

konvergensi panas di dalam cekungan, didorong oleh perubahan arus laut, termasuk ITF dan Arus Agulhas (McMonigal et al., 2022).

## 2. Pengaruh Atmosfer dan Fluks Panas

Hubungan antara fluks panas permukaan turbulen (SHF) dan SST bervariasi secara spasial, dengan gaya atmosfer mendominasi di wilayah tropis Indo-Pasifik Barat. Laut Arab mengalami variabilitas SST yang signifikan, yang sangat penting untuk memahami dinamika musim hujan. SST dipengaruhi oleh fenomena atmosfer skala besar seperti Atlantic Multidecadal Oscillation (AMO) dan proses samudera lokal seperti pusaran naik dan mesoscale. AMO, misalnya, mempengaruhi SST dengan memodulasi pola angin dan laju penguapan, yang mengarah ke tren pemanasan di wilayah tersebut (Yamagami et al., n.d.).

El Niño—Osilasi Selatan (ENSO) juga mempengaruhi variabilitas SST di Samudra Hindia, meskipun dampaknya simetris, dengan besaran anomali hangat dan dingin yang serupa. Hal ini menunjukkan bahwa ENSO bukanlah pendorong utama tren pemanasan baru-baru ini di Samudra Hindia tengah (Leupold et al., 2020)

Sementara proses samudera seperti ITF dan perubahan transportasi panas merupakan pendorong signifikan variabilitas SST, kondisi atmosfer, termasuk SHF dan ENSO, juga memainkan peran penting. Interaksi antara faktor-faktor ini menyoroti kompleksitas dinamika SST di Samudra Hindia, yang memerlukan pemahaman komprehensif tentang kontribusi samudera dan atmosfer.

## CONCLUSION

Dari beberapa jurnal dapat diambil kesimpulan

1. Fluks/ aliran panas merupakan faktor dominan dalam variabilitas SST di 30 meter atas lautan. Peristiwa IOD positif dikaitkan dengan suhu permukaan laut yang lebih hangat di Samudra Hindia barat dan suhu yang lebih dingin di timur, sedangkan peristiwa negatif menunjukkan pola yang berlawanan (Park et al., 2024).
2. Perubahan SST jangka panjang dipengaruhi oleh pemanasan global, dengan lautan bertindak sebagai reservoir panas utama. Lebih dari 90% perolehan panas bumi diserap oleh lautan, yang menyebabkan peningkatan SST (Venegas et al., 2023). Meningkatnya SST karena peningkatan fluks panas dapat menyebabkan gelombang panas laut, yang memiliki efek mendalam pada ekosistem laut, termasuk perubahan distribusi spesies dan layanan ekosistem (Marin et al., 2021)
3. Mekanisme Wind Induced Surface Heat Exchange (WISHE) sangat penting untuk intensifikasi siklon tropis. Ini melibatkan peningkatan fluks panas dari lautan dengan meningkatnya kecepatan angin, menciptakan loop umpan balik positif yang meningkatkan intensitas siklon (Polesello et al., 2023). Simulasi numerik menunjukkan bahwa anomali suhu permukaan laut (SSTA) dan kandungan panas laut (OHC) secara signifikan berdampak pada intensitas dan lintasan siklon. Skenario OHC yang lebih tinggi menghasilkan siklon yang lebih intens, sementara SSTA dapat meningkatkan laju pendalaman selama fase intensifikasi cepat (Wellmeyer et al., 2024).

## REFERENCES

- [1] Tom, Matthews., Robert, L., Wilby., Conor, Murphy. (2019). 1. An emerging tropical cyclone-deadly heat compound hazard. *Nature Climate Change*, doi: 10.1038/S41558-019-0525-6
- [2] Xiangzhou, Song., Chunlin, Ning., Yongliang, Duan., Huiwu, Wang., Chao, Li., Yang, Yang., Jianjun, Liu., Weidong, Yu. (2021). 2. Observed Extreme Air–Sea Heat Flux Variations during Three Tropical Cyclones in the Tropical Southeastern Indian Ocean. *Journal of Climate*, doi: 10.1175/JCLI-D-20-0170.1
- [3] Evan, Wellmeyer., Antonio, Ricchi., Rossella, Ferretti. (2024). 3. On the response of extreme Tropical Cyclones to Anomalous Upper Ocean Thermal Structure&#160;. doi: 10.5194/ems2024-510
- [4] Weixing, Shen., Isaac, Ginis. (2003). 4. Effects of surface heat flux-induced sea surface temperature changes on tropical cyclone intensity. *Geophysical Research Letters*, doi: 10.1029/2003GL017878
- [5] Caroline, Muller., Agostino, N., Meroni., Katharina, Dziuk, Lameira. (2023). 5. Intensification mechanisms of tropical cyclones. doi: 10.5194/egusphere-egu23-6157
- [6] Peter, Pfliederer., Shruti, Nath., Carl-Friedrich, Schleussner. (2021). 6. Extreme Atlantic hurricane seasons made more likely by ocean warming. doi: 10.5194/WCD-2021-64
- [7] Benjamin, W., Green., Fuqing, Zhang. (2013). 7. Impacts of air-sea flux parameterizations on the intensity and structure of tropical cyclones. *Monthly Weather Review*, doi: 10.1175/MWR-D-12-00274.1
- [8] Peter, Pfliederer., S, Nath., Carl-Friedrich, Schleussner. (2022). 8. Extreme Atlantic hurricane seasons made twice as likely by ocean warming. *Weather and climate dynamics*, doi: 10.5194/wcd-3-471-2022
- [9] Haruka, Sasaki., Tatsuo, Motoi. (2022). 9. Accelerated Increase in Tropical Cyclone Heat Potential in the Typhoon Rapidly Intensifying Zone during 1955-2020. *Sola*, doi: 10.2151/sola.2022-011
- [10] Chin-Hsuan, Peng., Chun-Chieh, Wu. (2020). 10. The Impact of Outer-Core Surface Heat Fluxes on the Convective Activities and Rapid Intensification of Tropical Cyclones. *Journal of the Atmospheric Sciences*, doi: 10.1175/JAS-D-19-0348.1
- [11] Maxime, Marin., Maxime, Marin., Maxime, Marin., Nathaniel, L., Bindoff., Ming, Feng., Helen, E., Phillips., Helen, E., Phillips. (2021). 1. Slower long-term coastal warming drives dampened trends in coastal marine heatwave exposure. *Journal of Geophysical Research*, doi: 10.1029/2021JC017930
- [12] Maxime, Marin., Maxime, Marin., Maxime, Marin., Nathaniel, L., Bindoff., Ming, Feng., Helen, E., Phillips., Helen, E., Phillips. (2021). 1. Slower long-term coastal warming drives dampened trends in coastal marine heatwave exposure. *Journal of Geophysical Research*, doi: 10.1029/2021JC017930
- [13] Daniel, R., Cayan. (1992). 2. Latent and sensible heat flux anomalies over the northern oceans : driving the sea surface temperature. *Journal of Physical Oceanography*, doi: 10.1175/1520-0485(1992)022<0859:LASHFA>2.0.CO;2
- [14] Yajun, Wang., Huayang, Cai., Yu, Yan., Bozhi, Wang., Huimin, Pan., Ping, Zhang., Bo, Li., Tongtiegang, Zhao. (2024). 3. Regime shifts in the thermal dynamics of offshore China due to accelerated global warming. *Science of The Total Environment*, doi: 10.1016/j.scitotenv.2024.174882

- [15] Federico, Filipponi., Emiliana, Valentini., Andrea, Taramelli. (2017). 4. Sea Surface Temperature changes analysis, an Essential Climate Variable for Ecosystem Services provisioning. doi: 10.1109/MULTI-TEMP.2017.8035255
- [16] R., M., Venegas., Jorge, Acevedo., Eric, A., Trembl. (2023). 5. Three decades of ocean warming impacts on marine ecosystems: A review and perspective. *Deep-sea Research Part II-topical Studies in Oceanography*, doi: 10.1016/j.dsr2.2023.105318
- [17] John, Siddorn., Julian, Icarus, Allen. (2003). 6. Surface heat fluxes and ecosystem function in the Cretan Sea (eastern Mediterranean): a modelling study. *Annales Geophysicae*, doi: 10.5194/ANGE0-21-377-2003
- [18] Christopher, J., Merchant., Peter, J., Minnett., Helen, Beggs., Gary, Corlett., Chelle, L., Gentemann., Andrew, R., Harris., Jacob, L., Høyer., Eileen, Maturi. (2019). 7. Global Sea Surface Temperature. doi: 10.1016/B978-0-12-814458-9.00002-2
- [19] Pamela, Gallahue. (2022). 1. Reduction in Meridional Heat Export Contributes to Recent Indian Ocean Warming. *Journal of Physical Oceanography*, doi: 10.1175/jpo-d-21-0085.1
- Timothy, J, Smyth., Icarus, Allen., Angus, Atkinson., John, T., Bruun., Rachel, A., Harmer., Robin, D., Pingree., Claire, E., Widdicombe., Paul, J., Somerfield. (2014). 9. Ocean Net Heat Flux Influences Seasonal to Interannual Patterns of Plankton Abundance. *PLOS ONE*, doi: 10.1371/JOURNAL.PONE.0098709
- [20]
- [21] Xinru, Li., Simon, D., Donner. (2021). 10. Lengthening of Warm Periods Increased the Intensity of Warm-season Marine Heatwaves Over the Past Four Decades. doi: 10.21203/RS.3.RS-700862/V1
- [22] Xu, Yuan., Caroline, C., Ummenhofer., Hyodae, Seo., Zhongbo, Su. (2020). 1. Relative contributions of heat flux and wind stress on the spatiotemporal upper-ocean variability in the tropical Indian Ocean. *Environmental Research Letters*, doi: 10.1088/1748-9326/AB9F7F
- [23] Xue, Feng., Toshiaki, Shinoda. (2019). 2. Air-Sea Heat Flux Variability in the Southeast Indian Ocean and Its Relation With Ningaloo Niño. *Frontiers in Marine Science*, doi: 10.3389/FMARS.2019.00266
- [24] Sindu, Raj, Parampil., G., N., Bharathraj., Matthew, Harrison., Debasis, Sengupta. (2016). 3. Observed subseasonal variability of heat flux and the SST response of the tropical Indian Ocean. *Journal of Geophysical Research*, doi: 10.1002/2016JC011948
- [25] Peng, Gu., Zhengyu, Liu. (2024). 4. Assessing Climate Forcing From the Sea Surface Temperature-Surface Heat Flux Relation for SST-Coupled Oscillatory Variability. *Geophysical Research Letters*, doi: 10.1029/2024gl108552
- [26] R., A., Smith., Isla, S., Castañeda., Jeroen, Groeneveld., David, De, Vleeschouwer., Jorijntje, Henderiks., Beth, A, Christensen., Willem, Renema., Gerald, Auer., Kara, Bogus., Kara, Bogus., Stephen, J., Gallagher., Craig, S., Fulthorpe. (2020). 1. Plio-Pleistocene Indonesian Throughflow variability drove Eastern Indian Ocean sea surface temperatures. doi: 10.1029/2020PA003872
- Masanori, Konda., Norihisa, Imasato., Akira, Shibata. (2002). 6. Interannual variability of the sea-surface temperature in the Indian Ocean in response to the air-sea turbulent heat exchange. *Deep-sea Research Part II-topical Studies in Oceanography*, doi: 10.1016/S0967-0645(01)00162-X
- [27] Yu, Bin., On, M. (2011). 7. Surface heat flux feedback and SST variability. *Transactions of Atmospheric Sciences*,
- [28] Hu., Ruijin., Liu., Qinyu., Li., Chongyin. (2005). 8. A Heat Budget Study on the Mechanism of SST Variations in the Indian Ocean Dipole Regions.



- [29] Ruijin, Hu., Qinyu, Liu., Chongyin, Li. (2005). 9. A Heat Budget Study on the Mechanism of SST Variations in the Indian Ocean Dipole Regions. *Journal of Ocean University of China*, doi: 10.1007/S11802-005-0054-Y
- [30] Tomoki, Tozuka., Shun, Ohishi., Meghan, F., Cronin. (2018). 10. A metric for surface heat flux effect on horizontal sea surface temperature gradients. *Climate Dynamics*, doi: 10.1007/S00382-017-3940-2
- [31] Maike, Leupold., Miriam, Pfeiffer., Takaaki, K., Watanabe., Lars, Reuning., Dieter, Garbe-Schönberg., Chuan-Chou, Shen., Geert-Jan, A, Brummer. (2020). ENSO and internal sea surface temperature variability in the tropical Indian Ocean since the Maunder Minimum. *Climate of The Past Discussions*, 1-32. doi: 10.5194/CP-2020-22
- [32] Hyo-Jin, Park., Soon-Il, An., Jae-Heung, Park., Malte, F., Stuecker., Chao, Liu., Sang-Wook, Yeh. (2024). 1. Local feedback and ENSO govern decadal changes in variability and seasonal synchronization of the Indian Ocean Dipole. *Communications earth & environment*, doi: 10.1038/s43247-024-01525-1