

**HUBUNGAN INDIAN SUMMER MONSOON INDEX DENGAN OCEAN
HEAT CONTENT DAN INDIAN SUMMER MOONSON RAINFALL
DI ARABIAN SEA MINI WARM POOL**

Mukti Dono Wilopo

*Program Studi Ilmu Kelautan, Fakultas Pertanian, Universitas Bengkulu,
Bengkulu, Indonesia
E-mail: mdwilopo@unib.ac.id*

ABSTRAK

Wilayah *Arabian Sea Mini Warm Pool* (ASMWP) merupakan wilayah yang terletak di tenggara Laut Arab dimana pada pre-summer monsoon SPL sangat hangat melebihi 30°C. ASMWP diketahui memiliki pengaruh terhadap *Indian summer monsoon* di Asia namun pengaruhnya terhadap parameter lain perlu diinvestigasi. Pada studi ini akan dibahas pengaruh *Indian Summer Monsoon* terhadap *Ocean Heat Content* (OHC) di ASMWP dan *Indian Summer Monsoon Rainfall* (ISMR) di India serta hubungan OHC dan *Net Heat Flux* (NHF) terhadap ISMR pada periode 1955-2006. *Indian Summer Monsoon Index* (ISMI) diperoleh dari selisih antara anomaly kecepatan angin zonal pada tekanan 850 mb (U850) di 40-80° BT, 5-15° LU dengan 70-90° BT, 20-30° LU. Untuk menghitung OHC digunakan integrasi vertikal suhu dari kedalaman 0 – 700 meter. Awal periode didominasi nilai ISMI positif dan pada akhir 2000an hingga 2010an pola ISMI berubah menjadi negatif. Hubungan antara ISMI dengan ISMR menunjukkan adanya korelasi positif pada semua periode pengamatan, namun hubungan ini melemah pada periode 1995-2004. Pada periode 1995-2004 selain ISMI, OHC700 dan NHF, ada faktor lain yang lebih berpengaruh terhadap ISMR. Hubungan antara OHC700 di ASMWP dengan ISMR menunjukkan bahwa penurunan OHC700 pada periode pengamatan akan terjadi penurunan ISMR. Penguatan konveksi di ASMWP mengakibatkan pergeseran konveksi dari daratan India ke selatan yang mengakibatkan pelemahan jet stream timuran tropis sehingga ISMR menurun.

Kata Kunci: ASMWP, ISMI, ISMR, OHC, NHF

ABSTRACT

INDIAN SUMMER MONSOON INDEX RELATIONSHIP WITH OCEAN HEAT CONTENT AND INDIAN SUMMER MOONSON RAINFALL IN ARABIAN SEA MINI WARM POOL. *The Arabian Sea Mini Warm Pool (ASMWP) is an area located southeast of the Arabian Sea wherein the pre-summer monsoon the SPL is very warm, exceeding 30°C. ASMWP is known to have an influence on the Indian summer monsoon in Asia but its influence on other parameters needs to be investigated. This study discusses the influence of Indian Summer Monsoon on Ocean Heat Content (OHC) in*

ASMWP and Indian Summer Monsoon Rainfall (ISMR) in India and the relationship between OHC and Net Heat Flux (NHF) on ISMR from 1955 to 2006. Indian Summer Monsoon Index (ISMI) is obtained from the difference between the zonal wind speed anomaly of 850 mb (U850) at 40-80° E, 5-15° N, and 70-90° E, 20-30° N. To calculate OHC, vertical integration of temperature is used from a depth of 0 - 700 meters. The early period was dominated by positive ISMI but in the late 2000s to 2010s the ISMI pattern turned negative. The relationship between ISMI and ISMR shows a positive correlation in all periods, but this relationship weakened in the 1995-2004 period. In the 1995-2004 period apart from ISMI, OHC700, and NHF, other factors influenced ISMR. The relationship between OHC700 in ASMWP and ISMR shows that the decrease in OHC700 in the observation period will decrease the ISMR. The strengthening of convection in ASMWP resulted in a shift in convection from India mainland to the south which resulted in the weakening of the tropical eastern jet stream so that the ISMR decreased.

Keywords: ASMWP, ISMI, ISMR, OHC, NHF

PENDAHULUAN

Samudra Hindia yang dibatasi oleh daratan di bagian utara sehingga tidak memiliki wilayah lautan di sub-tropis menyebabkan di bagian tersebut terjadi pembalikan arah angin muson secara intensif (Tomczack & Godfrey, 1994). Menurut Tomczack & Godfrey (1994) angin muson bertiup dari barat daya yang disebut muson barat daya atau *summer monsoon* pada bulan Mei hingga September, sedangkan angin muson yang bertiup dari timur laut disebut dengan muson timur laut atau *winter monsoon* pada bulan November-Maret.

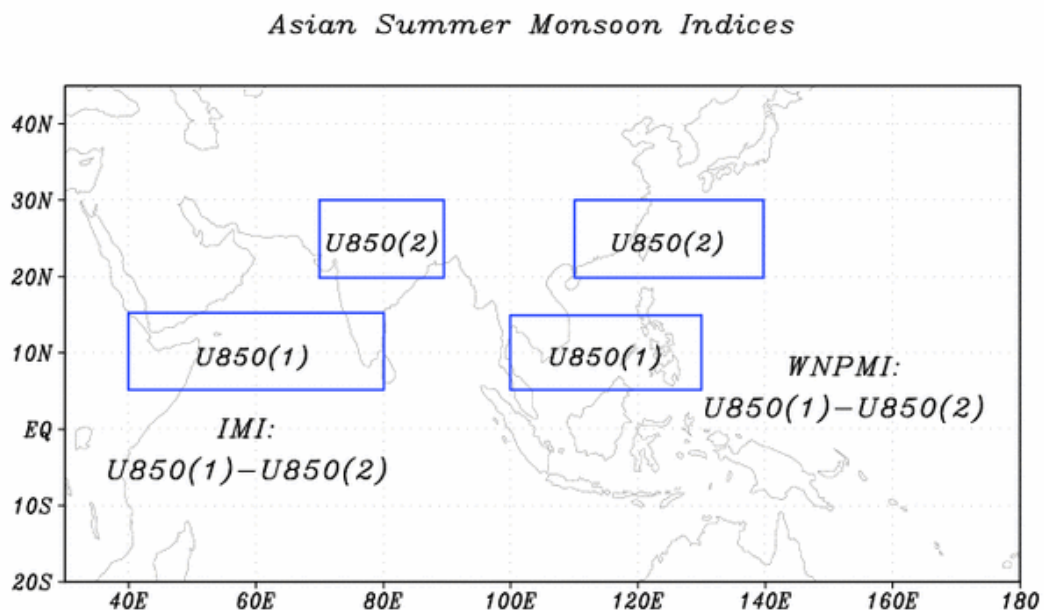
Salah satu wilayah yang berpengaruh pada variabilitas pada Samudra Hindia bagian utara dan daratan sekitarnya adalah *Arabian Sea Mini Warm Pool* (ASMWP) yang terletak pada 4°–14°LU dan 68°–78°BT di tenggara Laut Arab (Shenoi *et al.*, 1999). Beberapa penelitian telah dilakukan mengenai hal-hal yang berkaitan antara *summer monsoon* dengan parameter-parameter di ASMWP. Berbagai contoh studi misalnya mengenai dampak SST di ASMWP terhadap *vortex onset summer monsoon* (Joseph, 1990; Rao & Sivakumar, 1999; Deepa *et al.*, 2007; Vinayachandran *et al.*, 2007 dan Sanilkumar *et al.*, 2004). Sementara Rao & Sivakumar (1999) mengamati hubungan langsung antara *ocean heat content* permukaan (OHC) hingga isotherm 28°C selama Mei-Juni dan lokasi permulaan *vortex onset monsoon*. Nagamani *et al.* (2015) mengamati hubungan antara ASMWP dengan *Indian Summer Monsoon Rainfall* (ISMR) dari tahun 1993-2010. Mereka menunjukkan bahwa apabila OHC di ASMWP meningkat sedangkan ISMR pada jangka waktu yang sama akan menurun. Kemungkinan hubungan ini disebabkan peningkatan OHC akan menyebabkan perpindahan konveksi atmosferik sehingga menurunkan curah hujan di seluruh India.

Meskipun ASMWP memiliki dampak pada *vortex onset summer monsoon*, Vinayachandran *et al.* (2007) menyatakan bahwa pengaruh

ASMWP tidak memiliki syarat yang cukup untuk pembentukan *vortex summer monsoon*. Joseph (1990) menyarankan perlunya penelitian dampak ASMWP terhadap ISMR sedangkan Rao *et al.* (2015) telah menginvestigasi variabilitas interannual parameter-parameter di ASMWP. Pada studi ini akan dibahas pengaruh Indian Summer Monsoon terhadap OHC di ASMWP dan ISMR di India serta hubungan OHC dan NHF terhadap ISMR.

MATERI DAN METODE

Berdasarkan Wang *et al.* (2001), *Indian Summer Monsoon Index* diperoleh dari selisih antara anomaly kecepatan angin zonal pada tekanan 850 mb (U850) di 40-80° BT, 5-15° LU dengan 70-90° BT, 20-30° LU (Gambar 1)



Gambar 1. *Indian Summer Monsoon Index* diperoleh dari selisih anomaly kecepatan angin zonal pada tekanan 850 mb (U850) di 40-80° BT, 5-15° LU dengan 70-90° BT, 20-30° LU berdasarkan Wang & Fan (1999); Wang *et al.* (2001).

Data U850 diperoleh dari www.climexp.knmi.nl yang merupakan data reanalysis NCEP/NCAR. Untuk memperoleh data klimatologi U850 dilakukan perataan U850 bulan Juni-Juli-Agustus selama 1955-2016. Data anomaly U850 dinormalisasi terhadap standar deviasinya, kemudian diperoleh ISMI:

$$\text{IM Index} = \text{U850anom (40-80° BT, 5-15° LU)} - \text{U850 anom (70-90° BT, 20-30° LU)}$$

Untuk menghitung OHC digunakan integrasi vertikal suhu dari kedalaman 0 – 700 meter. Kedalaman hingga 700 meter digunakan karena

sebelum Argo data yang umumnya diambil melalui ekspedisi kapal biasanya hanya mencapai kedalaman kurang dari 1000 meter sedangkan sebagian besar data merupakan data hingga 700 meter. OHC dihitung dengan menggunakan rumus:

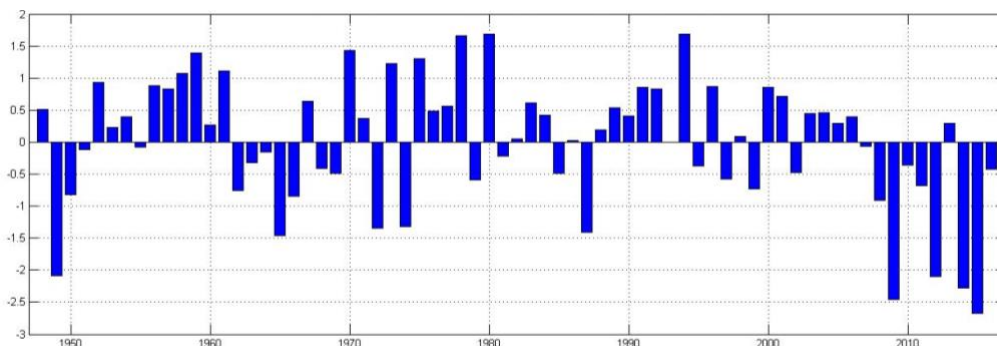
$$\text{OHC700} = \rho C_p \int_0^{700} T dz,$$

dimana ρ adalah densitas air laut, C_p adalah kapasitas panas spesifik pada tekanan konstan dan T adalah suhu laut per kedalaman. Data OHC700 diunduh dari www.climexp.knmi.nl yang merupakan data analisis NODC (*National Oceanographic Data Center*). OHC700 di wilayah ASMWP (4° – 14° LU to 68° – 78° BT) dirata-ratakan selama JJA dan dihitung anomalnya berdasarkan klimatologi periode 1955-2016.

Data *Net Heat Flux* untuk wilayah ASMWP dirata-ratakan berdasarkan bulan JJA dan anomalnya dihitung berdasarkan klimatologi selama periode 1955-2016. *Net Heat Flux* dapat diunduh dari www.climexp.knmi.nl yang merupakan data reanalysis dari NCEP/NCAR (*National Centers for Environmental Prediction/ National Center for Atmospheric Research*). Data bulanan *Indian Summer Monsoon Rainfall* (ISMR) diperoleh dari www.tropmet.res.in yang dirata-ratakan pada JJA. Anomali ISMR dihitung berdasarkan klimatologi selama periode 1955-2014. Hubungan setiap parameter dianalisis dengan korelasi Pearson.

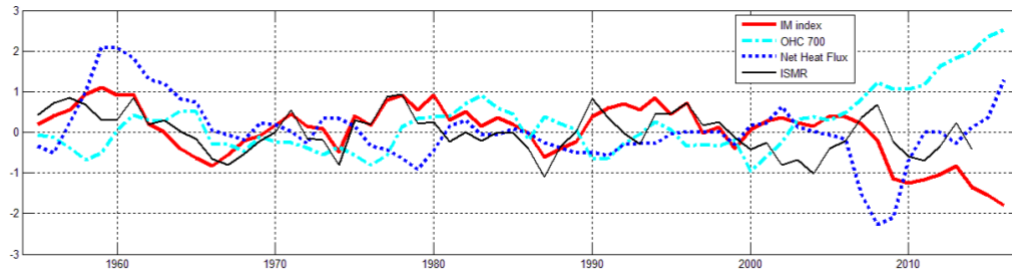
HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari hasil analisis data anomali U850 di 40 – 80° BT, 5 – 15° LU dan 70 – 90° BT, 20 – 30° LU pada bulan Juni-Juli-Agustus (JJA) diperoleh *Indian Summer Monsoon Index* (ISMI) pada periode 1948-2016 (Gambar 2). ISMI menunjukkan pola dekadal dimana awal periode didominasi nilai ISMI positif, kemudian periode 1960an ISMI menunjukkan pola negatif, pada periode 1970an ISMI kembali menunjukkan pola positif, lalu pada periode 1980an pola positif mulai melemah sedangkan pada 1990-2000an ISMI menunjukkan pola positif dan pada akhir 2000an hingga 2010an ISMI polanya berubah menjadi negatif.



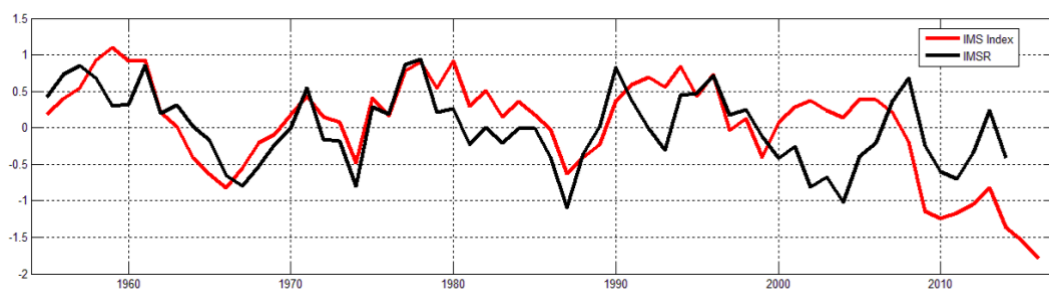
Gambar 2. *Indian Summer Monsoon Index* saat JJA pada periode 1948-2016

Hubungan antara ISMI dengan OHC700, NHF dan ISMR dapat dilihat pada Gambar 3. Dari hubungan antara ISMI dan ketiga parameter tersebut menunjukkan adanya irregularitas pada rentang 1955-2016. Walaupun demikian pada periode-periode tertentu ISMI menunjukkan korelasi kuat dengan parameter-parameter tersebut yang dapat dilihat pada analisis korelasi (Tabel 1).



Gambar 3. *Indian Summer Monsoon Index (IM), OHC700, Net Heat Flux, ISMR saat JJA dinormalisasi terhadap standar deviasinya. Seluruh parameter difilter dengan running mean 3 titik data.*

Untuk hubungan antara ISMI dan tiap parameter dapat dilihat pada Gambar 4, 5 dan 6. Pada Gambar 4 terlihat bahwa hubungan antara ISMI dengan ISMR cukup kuat. Hal ini dapat dilihat dari hasil analisis korelasi dari ISMI dengan ISMR dimana pada periode 1954-1965 korelasinya 0,52, pada periode 1965-1974 korelasinya 0,79, pada periode 1975-1984 korelasinya 0,75, pada periode 1985-1994 korelasinya 0,69 sedangkan pada periode 1995-2004 dan 2005-2016 korelasinya melemah menjadi 0,28 dan 0,45. Melemahnya korelasi antara ISMI dan ISMR pada dua dekade terakhir menunjukkan adanya faktor lain yang memiliki pengaruh terhadap ISMR.

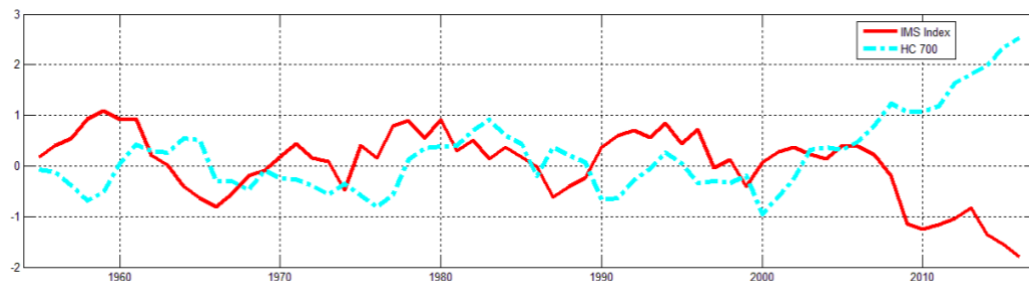


Gambar 4. Hubungan antara *Indian Summer Monsoon Index (IM)* dengan ISMR

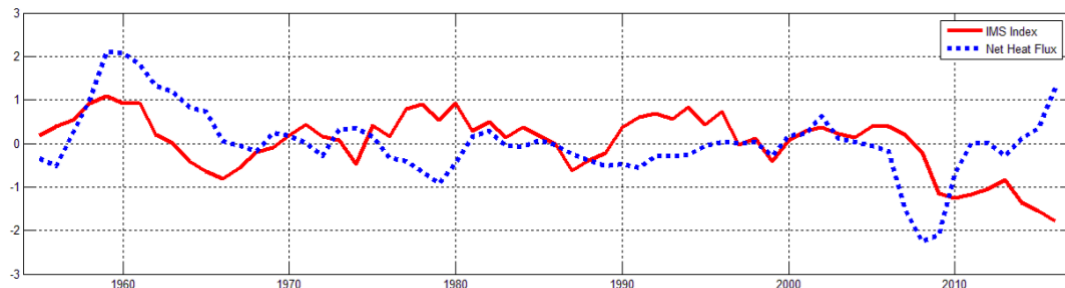
Selain itu dilihat juga bagaimana hubungan antara ISMI dengan OHC700 dan NHF di ASMWP. Pola hubungan ISMI dengan OHC700 dan NHF di ASMWP dapat dilihat pada Gambar 5 dan Gambar 6. ISMI menunjukkan pola irregularitas dengan OHC700 di ASMWP, dari analisis

korelasi terlihat hubungan negatif antara keduanya kecuali pada periode 1995-2004, dimana pada periode tersebut korelasinya positif dan sangat kecil (0,05). Sedangkan korelasi terkuat antara ISMI dengan OHC di ASMWP terjadi pada periode 1955-1964 dan 2005-2016 (-0,60 dan -0,83). Faktor-faktor yang dapat menyebabkan lemahnya korelasi antara parameter-parameter di ASWMP dengan ISMI dan ISMR antara lain peningkatan aerosol (Ramanathan *et al.*, 2005; Bollasina *et al.*, 2011; Wang, 2004), perubahan Suhu Permukaan Laut (SPL) dan OHC regional di sekitar Samudera Hindia di luar ASWMP serta adanya pengaruh dari variabilitas iklim seperti *El Nino Southern Oscillations* (ENSO) dan *Indian Ocean Dipole* (IOD) (Annamalai *et al.*, 2013; Swapna *et al.*, 2013).

Hubungan antara ISMI dan NHF di ASMWP menunjukkan korelasi negatif kecuali pada periode 1955-1964 dan 1995-2004. Sedangkan hubungan OHC dan NHF di ASMWP menunjukkan adanya korelasi positif kecuali pada 1995-2004.



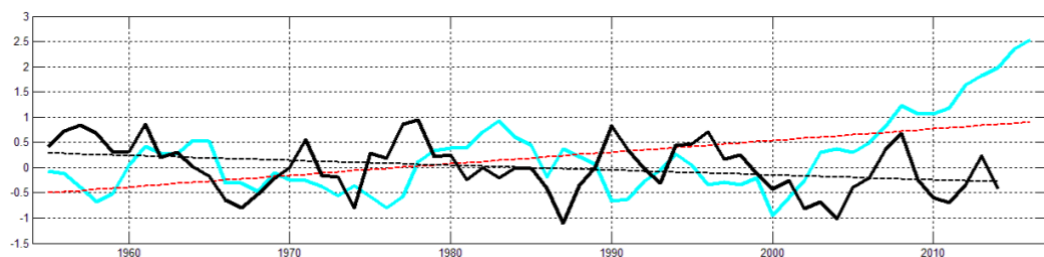
Gambar 5. Hubungan antara IM Index dengan HC700



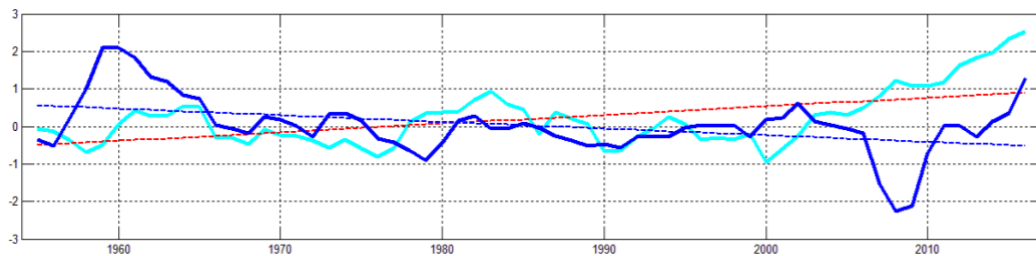
Gambar 6. Hubungan antara IM Index dengan *Net Heat Flux*

Tabel 1. Korelasi antar parameter saat JJA untuk periode 1955-1974

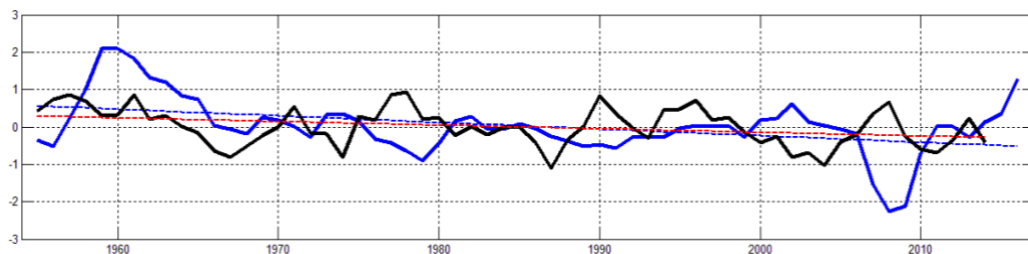
	1955-1964			1965-1974			1975-1984		
	OHC	NHF	ISMR	OHC	NHF	ISMR	OHC	NHF	ISMR
ISMI	-0.60	0.48	0.52	-0.34	-0.30	0.79	-0.07	-0.50	0.75
OHC		0.13	-0.41		0.67	0.18		0.18	-0.54
NHF			-0.28			0.05			-0.57
	1985-1994			1995-2004			2005-2016		
	OHC	NHF	ISMR	OHC	NHF	ISMR	OHC	NHF	ISMR
ISMI	-0.45	-0.07	0.69	0.05	0.44	0.28	-0.83	-0.41	0.45
OHC		0.54	-0.57		-0.20	-0.26		0.50	0.05
NHF			-0.38			-0.47			-0.64



Gambar 7. Hubungan antara OHC700 (garis biru muda) dengan ISMR (garis hitam)



Gambar 8. Hubungan antara OHC700 (garis biru muda) dengan *Net Heat Flux* (garis biru)



Gambar 9. Hubungan antara *Net Heat Flux* (garis biru) dengan ISMR (garis hitam)

Hubungan antara OHC700 dan NHF di ASMWP dengan ISMR ditunjukkan pada Gambar 7 dan Gambar 8. Pada Gambar 7 terlihat bahwa pada periode 1955-2015 menunjukkan hubungan negatif antara OHC700 dengan ISMR dimana OHC700 di ASMWP meningkat sedangkan ISMR akan menurun. Sedangkan NHF di ASMWP dengan ISMR menunjukkan pola yang berbeda dengan pola hubungan antara OHC700 di ASMWP dengan ISMR. Dari Gambar 8 terlihat bahwa NHF di ASMWP menurun sedangkan ISMR juga menurun. Peningkatan OHC di ASMWP akan meningkatkan konveksi di wilayah tersebut sehingga menyebabkan konveksi bergeser dari yang normalnya di daerah utara ASMWP ke arah selatan sehingga mengakibatkan pelemahan jet stream timuran tropis (Abish *et al.*, 2013). Hal inilah yang menyebabkan ISMR akan menurun karena pergeseran konveksi atmosfer di India ke arah selatan. Nagamani (2015) menunjukkan bahwa OHC pada periode 1993-2010 meningkat signifikan di ASMWP dibandingkan wilayah Samudera Hindia bagian utara lainnya, dimana peningkatan ini dapat menyebabkan penurunan ISMR yang terjadi pada periode yang sama.

KESIMPULAN

Hubungan antara ISMI dengan ISMR menunjukkan adanya korelasi positif pada semua periode pengamatan, namun hubungan ini melemah pada dua dekade terakhir terutama pada periode 1995-2004. Rendahnya korelasi ini juga terjadi pada korelasi antara ISMR dengan OHC700 dan NHF yang menunjukkan korelasi yang sangat rendah. Hal ini menunjukkan bahwa pada periode 1995-2004 selain ISMI, OHC700 dan NHF, ada faktor lain yang lebih berpengaruh terhadap ISMR. Sedangkan hubungan antara OHC700 di ASMWP dengan ISMR menunjukkan bahwa penurunan OHC700 pada periode pengamatan akan terjadi penurunan ISMR. Hal ini karena adanya penguatan konveksi di ASMWP yang mengakibatkan pergeseran konveksi dari daratan India ke selatan yang mengakibatkan pelemahan jet stream timuran tropis sehingga ISMR menurun.

DAFTAR PUSTAKA

- Abish, B., P.V. Joseph, & O.M. Johannessen. 2013. Weakening Trend of The Tropical Easterly Jet Stream of The Boreal Summer Monsoon Season 1950–2009. *Journal of Climate*. 26, 9408–9414.
- Annamalai, H., J. Hfner, K.P. Sooraj, & P. Pillai. 2013. Global Warming Shifts The Monsoon Circulation Drying South Asia. *Journal of Climate*, 26, 2701–2718.
- Bollasina, M.A., M. Yi, & V. Ramaswamy. 2011. Anthropogenic Aerosols and The Weakening of The South Asian Summer Monsoon. *Science*, 334, 502–504.

- Deepa, R., P. Seetaramayya, S.G. Nagar, & C. Gnanaseelan. 2007. On The Plausible Reasons for The Formation Of Onset Vortex in The Presence of The Arabian Sea Mini Warm Pool. *Current Science*. 92, 794–800.
- Joseph, P.V. 1990. Warm Pool over The Indian Ocean and Monsoon Onset. *Tropical Ocean Global Atmosphere Newsletters*. 53, 1–5.
- Nagamani, P. V., M.M. Ali, G.J. Goni, T.V.S. Udaya Bhaskar, J.P. Mc Creary, R.A. Weller, M. Rajeevan, V.V. Gopala Krishna & J.C. Pezzullo. 2016. Heat Content of The Arabian Sea Mini Warm Pool Is Increasing. *Atmos. Sci. Lett.* 17, 39–42.
- Ramanathan V., C. Chung, D. Kim, T. Bettge, L. Buja, J.T. Kiehl, W.M. Washington, Q. Fu, D.R. Sikka, & M. Wild. 2005. Atmospheric Brown Clouds: Impacts on South Asian Climate and Hydrological Cycle. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 102, 5326–5333.
- Rao, R.R. & R. Sivakumar . 1999. On The Possible Mechanisms of The Evolution of A Mini-Warm Pool During The Pre-Summer Monsoon Season and The Onset Vortex in The Southeastern Arabian Sea. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*. 125, 787–809.
- Rao, R.R., V. Jitendra, M.S. GirishKumar, M. Ravichandran, & S.S.V.S. Ramakrishna. 2015. Interannual Variability of The Arabian Sea Warm Pool: Observations and Governing Mechanisms. *Climate Dynamics*. 44(7-8), 2119–2136.
- Sanilkumar, K.V., P.V. HareeshKumar, J. Joseph, & J.K. Panigrahi. 2004. Arabian Sea Mini Warm Pool During May 2000. *Current Science*. 86, 180–184.
- Shenoi, S.S.C., D. Shankar & S.R. Shetye. 1999. On The Sea Surface Temperature High in The Lakshadweep Sea Before The Onset of The Southwest Monsoon. *Journal of Geophysical Research*. 104, 15703–15712.
- Swapna, P., R. Krishnan, J.M. Wallace. 2013. Indian Ocean and monsoon coupled interactions in a warming environment. *Climate Dynamics*, 42(9-10), 2439–2454,
- Tomczak, M. & J.S., Godfrey. 1994. *Regional Oceanography: An Introduction*. Pergamon Press, Oxford.

- Vinayachandran, P.N. & J. Kurian. 2008. Modeling Indian Ocean Circulation: Bay of Bengal Fresh Plume and Arabian Sea Mini Warm Pool. In Proceedings of the 12th Asian Congress of Fluid Mechanics. Daejeon, Korea, 18–21 August 2008.
- Wang, B. & Z. Fan. 1999. Choice of South Asian Summer Monsoon Indices. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 80, 629-638.
- Wang, B., R. Wu, & K.-M. Lau. 2001. Interannual Variability of Asian Summer Monsoon: Contrast Between The Indian and Western North Pacific-East Asian Monsoons. *J. Climate*, 14, 4073-4090.
- Wang, C.A. 2004. A Modeling Study on The Climate Impacts of Black Carbon Aerosols. *Journal of Geophysical Research*, 109, D03106.