
KORELASI MULTIVARIATE EL NIÑO SOUTHERN OSCILLATOR INDEX DAN VARIASI PERMUKAAN LAUT DI PERAIRAN INDONESIA

Eko Yuli Handoko*¹, Yuwono², Reni Ariani³, Ragfinsa Budiaski Filaili⁴

^{1,2,3} Departemen Teknik Geomatika; Kampus ITS Sukolilo, Surabaya, 60111, Indonesia

*e-mail: ekoyh@geodesy.its.ac.id

Abstrak

Lautan Indonesia merupakan wilayah perairan yang merupakan penghubung antara Lautan Pasifik dan Lautan Hindia, serta Laut China Selatan. Variasi permukaan laut yang relatif tinggi di bagian barat Lautan Pasifik mempengaruhi variasi laut di perairan Indonesia. Salah satu penyebab variasi permukaan laut di kawasan ini adalah pengaruh fenomena *El Niño Southern Oscillation*. Penelitian ini bertujuan melakukan perhitungan korelasi antara *El Niño Southern Oscillation* dan variasi permukaan laut di perairan Indonesia. Hitungan korelasi menggunakan *Multivariate El Niño Southern Oscillation* memberikan hasil adanya korelasi kuat negatif antara *El Niño Southern Oscillation* dan variasi permukaan laut sebesar -0,8.

Kata kunci : Satelit altimetri, *Multivariate El Niño Southern Oscillation*, variasi permukaan laut, perairan Indonesia

PENDAHULUAN

Permukaan laut rata-rata secara global merepresentasikan ketinggian rata-rata dari permukaan laut relatif terhadap pusat bumi. Peningkatan permukaan laut rata-rata dapat dilihat secara fisik sebagai perubahan volume lautan dan bentuk basin laut. Perubahan volume laut disebabkan oleh perubahan temperatur dan masuknya air segar yang berasal dari daratan terkait mencairnya es kutub dan glasial.

Pemantauan kenaikan permukaan laut secara global menggunakan data pengukuran satelit altimetri mencapai 3,4 mm per tahun (Ablain dkk, 2016). Berdasarkan pengamatan satelit altimetri mengindikasikan bahwa kecepatan kenaikan permukaan laut tidak merata / tidak sama di setiap lautan (Nicholls dan Cazenave, 2010). Beberapa wilayah, kenaikan permukaan laut lebih cepat dibandingkan wilayah lainnya, contohnya laju kenaikan permukaan laut lebih cepat di wilayah barat lautan Pasifik di banding di wilayah timur. Tingginya variasi permukaan laut di wilayah Lautan Pasifik didominasi oleh fenomena *El Niño Southern Oscillation* (ENSO) yang terdiri dari *El Niño* dan *La Niña* Indonesia terletak di antara Lautan Pasifik dan Lautan Hindia (Cazenave dkk, 2012; Church, White dan Hunter, 2006).

Lautan Indonesia yang terletak diantara Lautan Pasifik dan Lautan Hindia, merupakan jalur

pertukaran arus dari kedua lautan tersebut, atau yang disebut *Indonesian Throughflow* (ITF). Suhu dan salinitas menjadi faktor penting dalam variasi permukaan laut, sehingga dalam hal ini ITF memegang peranan penting dalam sirkulasi laut global dan regional.

Beberapa penelitian, Lautan Indonesia dipengaruhi oleh lautan sekitarnya, seperti Lautan Pasifik (Chang dkk., 2013; van Sebille dkk, 2014), Lautan Hindia (Saji dan Yamagata, 2003; Lan, Wong dan Han, 2008) dan Lautan Laut China Selatan (Gordon dkk, 2012).

ENSO adalah fenomena yang terjadi akibat adanya penyimpangan kondisi interaksi antara lautan dan atmosfer di sepanjang Samudera Pasifik sekitar ekuator dari keadaan normalnya sehingga mempengaruhi variabilitas iklim di wilayah ekuator samudera Pasifik dan beberapa bagian bumi. *El Niño* terjadi ketika suhu permukaan laut di bagian timur Samudera Pasifik meningkat, namun suhu di barat Samudera Pasifik dan sekitar Indonesia mengalami penurunan (penyimpangan) sehingga curah hujan menurun. Hal sebaliknya akan terjadi ketika fenomena *La Niña*. Untuk mengetahui fenomena ENSO (dapat dilihat dari indikator anomali suhu permukaan laut, Indeks Osilasi Selatan (SOI), dan elevasi permukaan laut (Rejeki dkk. 2017).

Posisi Indonesia yang berada di *Inter-Tropical Convergence Zone* (ITCZ) menyebabkan cuaca dan iklim di Indonesia dipengaruhi fenomena ENSO.

Pengaruh ENSO berbeda-beda antar wilayah bergantung pada lokasi dan topografi (Qian, Robertson, dan Moron 2010). ENSO akan mempengaruhi keadaan meteo-oseanografi yaitu kondisi curah hujan di darat maupun laut, suhu permukaan laut, dan tinggi permukaan laut. Dengan karakteristik Lautan Indonesia yang dipengaruhi Lautan sekitar dan fenomena ENSO, Penelitian ini berfokus untuk mengetahui seberapa besar pengaruh ENSO terhadap lautan Indonesia dengan menghitung korelasi antara ENSO indeks dan *detrended Sea Level Anomaly*.

DATA DAN METODE

Multivariate ENSO Index (MEI) adalah indeks yang paling mewakili fenomena ENSO. *Multivariate ENSO Index* (MEI) adalah ukuran multivarian dari sinyal ENSO yang didasarkan dari 6 variabel meteorologi utama pada ekuator Pasifik yaitu tekanan permukaan laut (P), komponen zonal (U) dan meridional angin permukaan (V), suhu permukaan laut (S), suhu permukaan udara (A), dan *total cloudiness fraction of the sky* (C). Pengamatan ini telah dikumpulkan dan diterbitkan dalam *Comprehensive Ocean-Atmosphere Data Set* (COADS) selama bertahun-tahun. COADS adalah database digital berisi data cuaca dari pengamatan kapal dan buoy cuaca. Data MEI diambil dari Laut wilayah Pasifik tropis dengan batas 30°LU – 30°LS dan 100°BT – 70°BB. Nilai negatif /rendah dari MEI mewakili tahap ENSO yang dingin (*La Nina*), sedangkan nilai positif /tinggi MEI mewakili hangat fase ENSO (*El Nino*). Nilai setiap bulan dipusatkan antara bulan sebelum dan berikutnya, misalkan nilai Januari mewakili nilai yang berpusat antara Desember-Januari dan seterusnya. Nilai MEI distandarisasi dengan referensi periode 1950 -1993 dan dihitung sebagai *first unrotated principal component* (PC) dari kombinasi keenam variabel yang diamati (Mazzarella, Giuliacci, dan Liritzis 2010).

Dalam penelitian ini, indeks ENSO yang digunakan adalah (MEI). Data MEI tersedia dalam website NOAA (www.esrl.noaa.gov/psd/enso/mei/) dan dapat diunduh secara gratis. Periode data yang digunakan antara 1993 hingga 2017.

Data variasi permukaan laut di Lautan Indonesia menggunakan data pengamatan Altimetri satelit TOPEX/Poseidon, Jason-1, Jason-2 dan Jason-3.

Data pengamatan tersebut meliputi lautan Indonesia dengan batas 20° Lintang Selatan hingga 13° Lintang Utara dan 90° hingga 144° Bujur Timur dalam periode dari tahun 1993 hingga 2017.

Data satelit altimetri yang digunakan merupakan ekstraksi dari *Radar Altimeter Database System* (RADS). RADS dikembangkan *Delft Institute for Earth-Oriented Space Research* (DEOS) yang bekerja sama dengan *NOAA's Laboratory for Satellite altimetry* (Scharroo, 2012).

Dalam pengolahan data altimetri, terdapat beberapa hal yang dilakukan antara lain:

- Pengolahan data untuk mengestimasi *Sea Level Anomaly* (SLA) untuk masing-masing satelit menggunakan persamaan 1. Besaran-besaran parameter yang digunakan dalam menentukan SLA berdasarkan penelitian Handoko, Fernandes dan Lazaro (2017).
- Dalam menjaga kekontinyuan SLA dari berbagai data altimetri, perlu dilakukan *inter-calibrated*, yaitu memberikan koreksi kepada misi-misi satelit terhadap misi referensi. Dalam hal ini, satelit TOPEX/Posidon dijadikan sebagai satelit referensi, sedangkan satelit lainnya, seperti Jason-1, Jason-2 dan Jason-3 harus diberikan koreksi mengacu kepada satelit referensi.
- Data SLA yang telah dikalibrasi kemudian dilakukan detrending agar dapat dibandingkan dengan indeks ENSO.
- Nilai indeks ENSO, dalam hal ini menggunakan MEI disusun dan dihitung nilai korelasinya dengan *detrended SLA*.

Penjabaran dari hal tersebut di atas akan dijelaskan lebih detail di bawah ini.

Prinsip satelit altimetri dapat dijelaskan sebagai berikut: altimeter mengirimkan pulsa pendek radiasi *microwave* dengan kekuatan yang diketahui terhadap permukaan laut. Pulsa berinteraksi dengan permukaan laut sesaat dan sebagian radiasi altimeter akan terefleksi kembali ke altimeter. Teknik penentuan jarak dengan radar yaitu dari waktu untuk perjalanan pulsa pulang-pergi antara satelit dan permukaan laut. Jarak dari satelit ke *mean sea level* adalah estimasi dari perjalanan pulang-pergi (Chelton dkk. 2001). Namun untuk mendapatkan data altimetri yang memberikan hasil baik, beberapa koreksi harus diberikan. Koreksi

tersebut antara lain: koreksi kering dan basah dari troposfer (*dry and wet tropospheric corrections*), koreksi ionosfer, koreksi *sea state bias*, koreksi pasang surut, *dynamic atmospheric correction*. Dalam studi variasi permukaan laut, *Sea Level Anomaly* (SLA) digunakan sebagai acuan untuk

$$h_{SLA} = H - R_{Obs} - \Delta h_{dry} - \Delta h_{wet} - \Delta h_{iono} - \Delta h_{SSB} - h_{DAC} - h_{tides} - h_{mss} \quad (1)$$

Dimana R_{Obs} adalah jarak antara satelit dan permukaan laut setelah dikoreksi kesalahan instrument, Δh_{dry} dan Δh_{wet} merupakan koreksi komponen kering dan basah troposfer, Δh_{iono} adalah koreksi ionosfer, Δh_{SSB} adalah koreksi *sea state bias*, h_{DAC} adalah *dynamic atmospheric correction*, h_{tides} merupakan gabungan koreksi *ocean tide*, *load tide* *solid earth tide* dan *pole tide*, sedangkan h_{mss} adalah *mean sea surface model*.

$$SLA_{Corrected}(J1) = SLA(J1) - bias(J1, TP) \quad (2)$$

$$SLA_{Corrected}(J2) = SLA(J2) - bias(J2, J1) - bias(J1, TP) \quad (3)$$

$$SLA_{Corrected}(J3) = SLA(J2) - bias(J3, J2) - bias(J2, J1) - bias(J1, TP) \quad (4)$$

Dekomposisi *time series* merupakan hal penting dalam banyak konteks dimana variasi musiman dalam data *time series* diamati. *Detrending* adalah proses menghilangkan tren linier dari suatu *time series*, biasanya

digunakan untuk proses *Fast Fourier Transform* (FFT). Tren linier adalah kecenderungan data dimana perubahannya berdasarkan waktu adalah tetap. *Detrending* digunakan untuk menghilangkan distorsi pada proses korelasi dan untuk mendapatkan data yang stasioner. Umumnya, *time series* dapat dianggap sebagai kombinasi banyak komponen dengan frekuensi yang berbeda. Transformasi Fourier dapat menguraikan seri yang diberikan ke dalam komponen ini, dan komponen terdekomposisi dapat direkonstruksi kembali ke seri asli menggunakan *inverse Fourier transform*.

mengetahui perubahan permukaan laut yang berreferensi *Mean Sea Surface* (MSS). Hal ini untuk menghilangkan pengaruh dinamika *sea surface topography* (SST). SLA dapat ditentukan berdasarkan persamaan berikut:

Penghitungan bias dalam tandem misi untuk keseluruhan periode altimetri dihitung dengan menggabungkan *time series* dari ketiga satelit sebelum dilakukan *time series decomposition*. Untuk penerapan pada perhitungan SLA, bias ini dihitung sebagai perbedaan rata-rata SLA antara dua misi pada periode yang sama selama beberapa siklus pada persamaan berikut (Masters 2012).

Persamaan untuk mendapatkan detren terdapat pada persamaan berikut:

$$\text{Detrend data} = \text{Raw data} - \text{trend data} \quad (5)$$

Korelasi merupakan istilah yang digunakan untuk mengukur kekuatan hubungan antar variabel. Analisis korelasi adalah cara untuk mengetahui ada atau tidak adanya hubungan antarvariabel misalnya hubungan dua variabel. Dalam penelitian ini, korelasi dilakukan antara MEI dan detrended SLA.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam menentukan SLA masing masing satelit, menggunakan parameter dari Handoko, Fernandes, dan Lazaro (2017), seperti dalam tabel 1.

Tabel 1. Parameter Model Koreksi yang Digunakan

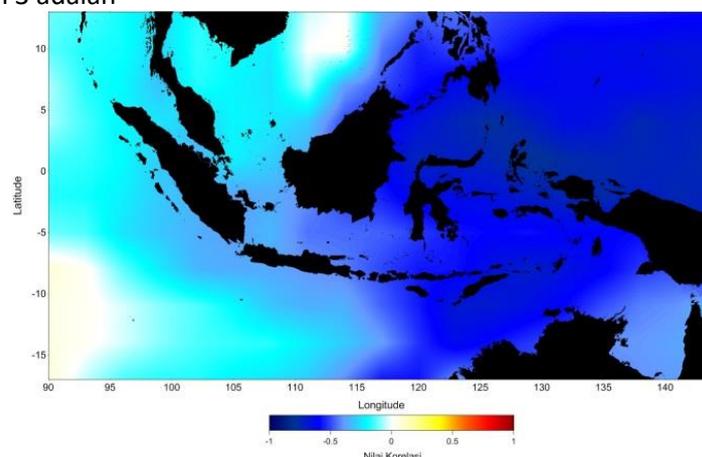
Parameter	T / P	Jason-1	Jason-2	Jason-3
DTC	ERA-Interim DTC	ERA-Interim DTC	ERA-Interim DTC	ERA-Interim DTC
WTC	ERA-Interim WTC	ERA-Interim WTC	ERA-Interim WTC	ERA-Interim WTC
Ionosfer	<i>smoothed dual frequency</i>	<i>smoothed dual frequency</i>	<i>smoothed dual frequency</i>	<i>smoothed dual frequency</i>
SSB	CLS non-parametric	Tran2012 non-parametric	Tran2012 non-parametric	Tran2012 non-parametric
DAC	<i>local mean of MOG2D</i>			
Tides	GOT4.10	GOT4.10	GOT4.10	GOT4.10
MSS	CNES-CLS11	CNES-CLS15	CNES-CLS15	CNES-CLS15

Nilai SLA dirata-rata setiap *cycle* dibobotkan berdasarkan lintang dengan cosinus lintang. Kemudian proses gridding dilakukan dengan tujuan untuk mengisi kekosongan data terhadap nilai lintang-bujur, agar didapatkan hasil pemodelan yang lebih baik. *Gridding* SLA dilakukan dengan ukuran $3^\circ \times 3^\circ$, sebelumnya harus dihitung terlebih dahulu untuk setiap period (10 hari) untuk mendistribusikan pengukuran yang sama di seluruh permukaan lautan.

Proses *inter-calibrated missions*, antara satelit Topex/Poseidon dengan Jason terdapat tandem misi 21 *cycle* yaitu *cycle* 1-21 Jason 1 dan *cycle* 344 – 364 T/P. Untuk tandem misi satelit Jason 1 dengan Jason 2 adalah *cycle* 240 – 260 pada Jason 1 dan Jason 2 adalah *cycle* 1 – 21. Tandem misi satelit Jason 2 dan Jason 3 adalah

cycle 1-23 pada Jason 3 dan *cycle* 281-303 pada Jason 2. Nilai bias antara satelit Jason-1 dengan T/P adalah 0,619 mm, nilai bias antara Jason 1 dan Jason 2 adalah -18,16 mm, dan nilai bias antara Jason-2 dengan Jason-3 adalah 50,09 mm. Setelah mendapatkan bias kemudian nilai mean SLA Jason 1, 2, dan 3 dikoreksi dengan persamaan (2) – (5). Selanjutnya, dengan diperolehnya nilai bias dari masing-masing satelit relatif terhadap satelit referensi, maka ditentukan nilai rata-rata *SLA time series* untuk lautan Indonesia.

Menggunakan metode *detrending SLA time series*, hitungan korelasi antara indeks MEI dan variasi permukaan laut dapat ditentukan. Nilai korelasi ditentukan tiap grid dengan ukuran $3^\circ \times 3^\circ$. Hasil dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 1. Nilai Korelasi Antara MEI dan Detrended SLA

KESIMPULAN

Hitungan korelasi antara indeks ENSO dan variasi permukaan laut di perairan Indonesia dalam periode 1993 – 2017 telah dilakukan. Dalam penelitian ini, korelasi antara MEI dan detrend SLA mempunyai nilai korelasi tinggi sebesar -0,8, tanda negatif mempunyai arti korelasi berkebalikan. Secara pola spasial, nilai korelasi tinggi terdapat di perairan yang dekat dengan wilayah bagian barat lautan Pasifik. Semakin jauh dari wilayah Lautan Pasifik memperlihatkan korelasi yang kecil, sehingga dapat diartikan pengaruhnya semakin kecil

DAFTAR PUSTAKA

- Ablain, M., Legeais, J. F., Prandi, P., Marcos, M., Fenoglio-Marc, L., Dieng, H. B., . . . Cazenave, A. (2016). Satellite Altimetry-Based Sea Level at Global and Regional Scales. *Surveys in Geophysics*, 38(1), 7-31. doi:10.1007/s10712-016-9389-8
- Cazenave, A., Henry, O., Munier, S., Delcroix, T., Gordon, A. L., Meyssignac, B., . . . Becker, M. (2012). Estimating ENSO Influence on the Global Mean Sea Level, 1993–2010. *Marine Geodesy*, 35(sup1), 82-97. doi:10.1080/01490419.2012.718209
- Chang, Y.-T., Du, L., Zhang, S.-W., & Huang, P.-F. (2013). Sea level variations in the tropical Pacific Ocean during two types of recent El Niño events. *Global and Planetary Change*, 108, 119-127. doi:10.1016/j.gloplacha.2013.06.001
- Chelton, D. B., Ries, J. C., Haines, B. J., Fu, L. L., & Callahan, P. S. (2001). Satellite Altimetry. In L. L. Fu & A. Cazenave (Eds.), *Satellite Altimetry and Earth Sciences: A Handbook of Techniques and Applications* (pp. 1-132). San Diego: Academic Press.
- Church, J. A., White, N. J., & Hunter, J. R. (2006). Sea-level rise at tropical Pacific and Indian Ocean islands. *Global and Planetary Change*, 53(3), 155-168. doi:10.1016/j.gloplacha.2006.04.001
- Gordon, A. L., Huber, B. A., Metzger, E. J., Susanto, R. D., Hurlburt, H. E., & Adi, T. R. (2012). South China Sea throughflow impact on the Indonesian throughflow. *Geophysical Research Letters*, 39(11). doi:10.1029/2012gl052021
- Handoko, E., Fernandes, M., & Lázaro, C. (2017). Assessment of Altimetric Range and Geophysical Corrections and Mean Sea Surface Models—Impacts on Sea Level Variability around the Indonesian Seas. *Remote Sensing*, 9(2), 102. doi:10.3390/rs9020102
- Lan, J., Hong, J., & Wang, Y. (2008). Relationship of the interannual variability of the Indonesian Throughflow with the IOD over the tropical Indian Ocean. *Theoretical and Applied Climatology*, 97(1-2), 75-79. doi:10.1007/s00704-008-0066-9
- Masters, D., Nerem, R. S., Choe, C., Leuliette, E., Beckley, B., White, N., & Ablain, M. (2012). Comparison of Global Mean Sea Level Time Series from TOPEX/Poseidon, Jason-1, and Jason-2. *Marine Geodesy*, 35(sup1), 20-41. doi:10.1080/01490419.2012.717862
- Mazzarella, A., Giuliacci, A., & Liritzis, I. (2010). On the 60-month cycle of multivariate ENSO index. *Springer*, 23–27. <https://doi.org/10.1007/s00704-009-0159-0>
- Nicholls, R. J., & Cazenave, A. (2010). Sea-level rise and its impact on coastal zones. *Science*, 328(5985), 1517-1520. doi:10.1126/science.1185782
- Qian, J. H., Robertson, A. W., & Moron, V. (2010). Interaction Among ENSO, the Monsoon, and Diurnal Cycle in Rainfall Variability Over Java, Indonesia. *Journal of the Atmospheric Sciences*, (67), 3509–3524
- Rejeki, H. A., Munasik, & Kunarso. (2017). *The Effect of ENSO to the Variability of Sea Surface Height in Western Pacific Ocean and Eastern Indian Ocean and its Connectivity to the Indonesia Throughflow (ITF)*. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science 55. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/755/1/011001>
- Scharroo, R. (2012). *RADS version 3.1 - User Manual and Format Specification*.
- Van Sebille, E., Sprintall, J., Schwarzkopf, F. U., Gupta, A. S., Santoso, A., England, M. H., . . . Boning, C. W. (2014). Pacific-to-Indian Ocean connectivity: Tasman leakage, Indonesian Throughflow, and the role of ENSO. *J. Geophys. Res. Oceans*, 119, 1365–1382. doi:10.1002/2013JC009525