

Analisis Kenaikan Muka Air Laut Terhadap El-Niño Southern Oscillation (ENSO) di Laut Jawa Menggunakan Data Satelit Altimetri Cryosat-2

Analysis of Sea Level Rise Against El-Niño Southern Oscillation (ENSO) In Java Sea Using Cryosat-2 Altimetry Satellite Data

Loly Kurnia Naibaho, Eko Yuli Handoko*

Departemen Teknik Geomatika, FTSLK-ITS, Kampus ITS Sukolilo, Surabaya, 60111, Indonesia

*Korespondensi penulis: ekoyh@geodesy.its.ac.id

Diterima: 14082020; Diperbaiki: 04052022; Disetujui: 30082022; Dipublikasi: 01102022

Abstrak: Kenaikan permukaan air laut atau *sea level rise* akibat perubahan iklim adalah salah satu masalah serius pada saat ini. Air laut yang bersentuhan langsung dengan wilayah pesisir membuat wilayah tersebut menjadi rentan terhadap lingkungan. Salah satunya Laut Jawa di Indonesia dengan cakupan yang cukup luas akan memberi banyak dampak di wilayah pesisir Pulau Jawa bila adanya kenaikan permukaan laut. Untuk pengamatan tersebut dilakukan perhitungan sea level anomaly (SLA) agar membantu dalam memberi pemahaman permukaan laut serta perubahannya dari waktu ke waktu. Perhitungan SLA menggunakan data dari Satelit Cryosat-2. Cryosat-2 adalah satelit altimetri yang dirancang untuk misi pengamatan lapisan es dan oseanografi yang baik di laut. Serta satelit yang memiliki muatan utama SIRAL (SAR Interferometer Radar Altimetri) dan tingkat akurasi yang sangat baik walaupun tidak memiliki microwave radiometer. Dari penelitian ini diharapkan mengetahui *sea level variability* permukaan Laut Jawa dari tahun 2011 sampai dengan 2019. Didapatkan berdasarkan perhitungan regresi linier tren SLA Cryosat-2, Laut Jawa mengalami penurunan sebesar 27,9746 mm dengan laju -3,55 mm/tahun. Hal ini disebabkan oleh fenomena El-Niño Southern Oscillation (ENSO). Hasil perhitungan koefisien korelasi dari detrended sea level anomaly (SLA) dan Multivariate ENSO Index (MEI) adalah -0,6451 yang menandakan korelasi antara keduanya memiliki hubungan cukup namun tidak searah. Semakin tinggi index MEI maka nilai SLA akan semakin rendah di Laut Jawa, begitupun sebaliknya.

Copyright © 2022 Geoid. All rights reserved.

Abstract: *Sea level rise due to climate change is one of the serious problems at this time. Sea water that is in direct contact with the coastal area makes the region vulnerable to the environment. One of them is the Java Sea in Indonesia with a fairly broad scope that will have a lot of impact on the coast of Java if there is an increase in sea level. For these observations a sea level anomaly (SLA) is calculated to help in understanding sea level and its changes over time. SLA calculations use data from Cryosat-2 Satellite. Cryosat-2 is an altimetry satellite that is designed for good sea ice and oceanography observation missions. As well as satellites that have the main payload SIRAL (SAR Interferometer Radar Altimetry) and the level of accuracy is very good even though it does not have a microwave radiometer. From this research, it is expected to know the sea level variability of the Java Sea surface from 2011 to 2019. Obtained based on linear regression calculation of the Cryosat-2 SLA trend, the Java Sea has decreased by 27.9746 mm at a rate of -3.55 mm / year. This is caused by the phenomenon of El-Niño Southern Oscillation (ENSO). The results of the calculation of the correlation coefficient of the detrended sea level anomaly (SLA) and the Multivariate ENSO Index (MEI) are -0.6451, which indicates the correlation between the two has a sufficient but not unidirectional relationship. The higher the MEI index, the lower the SLA value will be in the Java Sea, and vice versa.*

Kata kunci : Kenaikan Muka Laut, Cryosat-2, ENSO, MEI.

Cara untuk sitasi: Naibaho, L., Handoko, E.Y. (2022). Analisis Kenaikan Muka Air Laut Terhadap El-Niño Southern Oscillation (ENSO) di Laut Jawa Menggunakan Data Satelit Altimetri Cryosat-2. *Geoid*, 18(1), 34-45.

Pendahuluan

Wilayah pesisir merupakan wilayah yang sangat rentan terhadap lingkungan, baik yang berasal dari darat maupun dari laut. Salah satu tekanan yang saat ini sedang mengancam keberlanjutan wilayah pesisir adalah adanya kenaikan muka air laut (Wirasatriya, Hartoko, & Suripin, 2006). Kenaikan permukaan laut merupakan juga masalah yang berdampak pada terjadinya masalah alam dan berdampak pada kehidupan ekonomi penduduk di sekitar pantai (Karondia, Handoko, & Hapsari, 2019). ENSO atau El-Niño Southern Oscillation dapat menjadi representasi dari bagian penting perubahan iklim global karena mempengaruhi cuaca dan iklim pada skala global. Fenomena ini ditunjukkan oleh adanya air permukaan yang lebih hangat di sepanjang khatulistiwa Samudra Pasifik dalam periode interval 2 hingga 7 tahun (Handoko, Hariyadi, & Wirasatriya, 2018). Pengaruhnya terhadap laut Indonesia sangat signifikan. Lautan Indonesia dianggap sebagai jalur samudera untuk Samudera Pasifik dan Samudera Hindia di mana air dari Samudera Pasifik mengalir ke Samudera Hindia melalui lautan Indonesia, yang disebut Indonesian Throughflow (ITF) (Gordon, 2005). Pada tahun 1997 sampai dengan 1998 terjadi fenomena El-Niño dimana Indonesia pada mengalami kenaikan musim kering yang panjang. Sedangkan pada tahun 1999 mengalami La-Niña, Indonesia mengalami kenaikan curah hujan yang tinggi dan kenaikan tinggi muka air laut, sehingga menyebabkan banjir disebagian besar wilayah Indonesia, terutama wilayah pesisir (BAPPENAS, 2009).

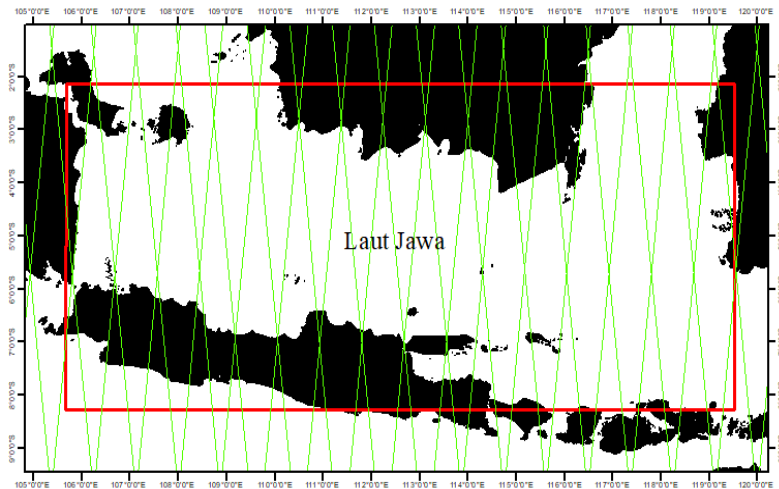
Indonesia mempunyai bentuk negara kepulauan dengan jumlah 17.504 pulau dan luas perairan 6.315.222 km² (Badan Informasi Geospasial, 2015) Laut Jawa merupakan salah satu laut di Indonesia dengan luas yang cukup besar. Wilayah ini berbatasan langsung dengan sisi utara Pulau Jawa dan memiliki luas permukaan sekitar 467.000 km². Wilayah yang luas tersebut tidak memungkinkan melakukan pengamatan secara konvensional, sehingga memanfaatkan teknologi yaitu satelit altimetri. Hal tersebut menjadi alternatif yang tepat karena misi satelit altimetri yang berkualitas tinggi menyediakan pengamatan secara langsung dan global mengenai laut dan variabilitas temporal dan spasialnya.

Cryosat-2 adalah jenis satelit altimetri yang digunakan. Diluncurkan pada tahun 2010 dengan ketinggian rata-rata 710 km, inklinasi 92°, dan periode orbit 369 hari dengan sub-cycle 30 hari. Muatan utama adalah SIRAL (SAR Interferometer Radar Altimeter) yang memiliki kemampuan tambahan untuk memenuhi persyaratan pengukuran elevasi lapisan es (Mayer, 2013). SIRAL dirancang dengan tiga mode pengukuran berdasarkan zona penampang geografis yaitu LRM, SAR, dan SARin, yang dapat digunakan untuk pengamatan di laut dan lapisan es (Mertz, Dumont, & Urien, 2017). Sebagian besar wilayah Indonesia berada di zona penampang untuk Mode SAR. Cryosat-2 memiliki tingkat akurasi yang sangat baik di atas lautan walaupun tidak memiliki microwave radiometer sehingga nilai koreksi didapatkan dari model-model. Untuk data yang dihasilkan terdiri dari dua tipe yaitu Level 1b dan Level 2, dimana Level 2 merupakan data dengan koreksi yang lengkap.

Sebagai negara kepulauan dengan laut yang sangat luas dan salah satunya adalah Laut Jawa, maka akan ada banyak dampak kenaikan muka air laut di wilayah pesisir. Karena itu perlu diketahui nilai kenaikan permukaan laut dan faktornya. Sehingga pada penelitian ini, dilakukan perhitungan sea level anomaly (SLA) untuk mendapatkan nilai kenaikan permukaan laut dan perhitungan korelasi untuk mengetahui hubungan faktor ENSO di wilayah Laut Jawa. Nilai MEI (Multivariate ENSO Index) sebagai representasi untuk ENSO dalam perhitungan korelasi. MEI adalah indeks yang ditentukan dari komponen prinsip yang bervariasi dari enam atmosfer-lautan dari parameter Comprehensive Ocean-Atmosphere Data Set (COADS) yang diukur di atas Pasifik tropis dan dapat mencerminkan beberapa karakteristik dari fenomena ENSO (Wolter & Timlin, 2011). Penelitian ini juga menggunakan data satelit Cryosat-2 Mode SAR Level 2 pada tahun 2011 sampai dengan 2019.

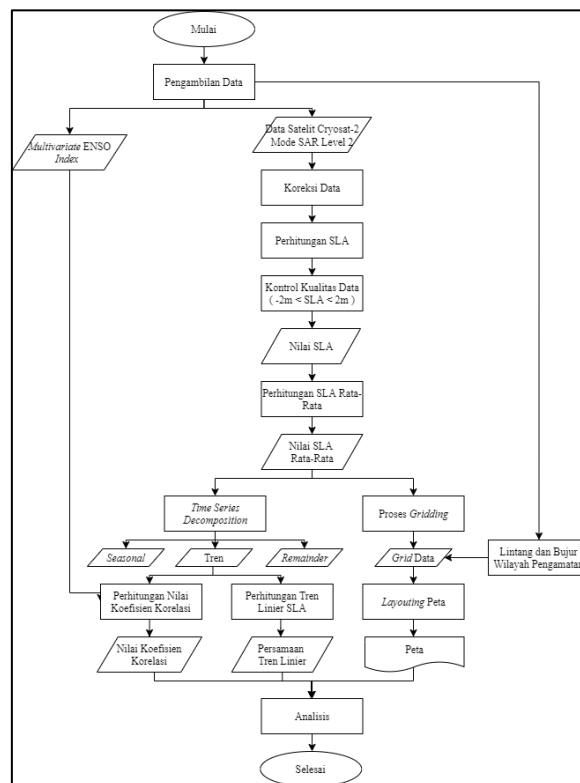
Data dan Metode

Lokasi yang dijadikan penelitian adalah Laut Jawa yang terletak di bagian utara Pulau Jawa. Laut Jawa memiliki koordinat 2° 55' LS sampai dengan 7° 46' LS dan 105° 46' BT sampai dengan 119° 28' BT.



Gambar 1. Lokasi Penelitian

Data yang digunakan adalah data satelit altimeter 20Hz Level 2 Cryosat-2 Mode SAR tahun 2011 – 2019. Parameter – paramater yang digunakan dalam perhitungan data adalah tinggi orbit satelit (*altitude*), tinggi altimeter (*range*), waktu pengamatan, *dry trophospheric correction*, *wet trophospheric correction*, *ionospheric correction*, *Sea State Bias (SSB)*, *tides correction*, *Dynamic Atmospheric Correction (DAC)*, dan *Mean Sea Surface (MSS)*. Data lain yang digunakan untuk mengkorelasikan hasil perhitungan data satelit adalah *Multivariate ENSO Index (MEI)* sebagai index yang merepresentasikan fenomena ENSO. Peralatan yang digunakan untuk menunjang penelitian ini adalah perangkat lunak MATLAB R2017b, Surfer 10, Scripeter, Grapher 14, dan Rstudio.



Gambar 2. Diagram Alir Metode Penelitian

Secara garis besar metode yang digunakan untuk penelitian ini dapat dilihat dari Gambar 2. Gambar tersebut menjelaskan diagram alir metode penelitian ini dengan pengolahan tahap awal adalah data Satelit Cryosat-2 yang digunakan berekstensi *.dbl. Model untuk setiap parameter yang digunakan juga ditentukan berdasarkan Tabel 1.

Tabel 1. Model Parameter Cryosat-2 (Webb & Hall, 2016)

Parameter	Model
<i>Altitude</i>	CNES GDR-E
<i>Range</i>	Ku-band
<i>Dry Trophospheric</i>	ECMWF
<i>Wet Trophospheric</i>	ECMWF
<i>Ionospheric</i>	GIM
<i>Sea State Bias</i>	Hybird
<i>Dynamic Atmospheric Correction</i>	MOG2D
<i>Solid tide</i>	FES2004
<i>Pole tide</i>	FES2004
<i>Ocean tide</i>	FES2004
<i>Load tide</i>	FES2004
<i>Mean Sea Surface</i>	UCL04

Data yang telah ditentukan modelnya akan diterapkan batas pada setiap parameter berdasarkan Tabel 2. Hal ini dilakukan agar parameter tidak mengandung data *outlier*.

Tabel 2. Kontrol Kualitas Data (Scharroo, 2018)

Parameter	Batas (m)
<i>Dry Trophospheric</i>	-2,40 sampai -2,10
<i>Wet Trophospheric</i>	-0,60 sampai 0,00
<i>Ionospheric</i>	-0,40 sampai 0,04
<i>Sea State Bias</i>	-1,00 sampai 1,00
<i>Dynamic Atmospheric Correction</i>	-1,00 sampai 1,00
<i>Solid tide</i>	-1,00 sampai 1,00
<i>Pole tide</i>	-0,10 sampai 0,10
<i>Ocean tide</i>	-5,00 sampai 5,00
<i>Load tide</i>	-0,50 sampai 0,50
<i>Mean Sea Surface</i>	-200 sampai 200
<i>Sea Level Anomaly</i>	-2,00 sampai 2,00

Data yang bernilai NaN diganti dengan nilai yang melampui batas (contoh=999,9) sehingga terseleksi pada proses koreksi dan kontrol kualitas data. Parameter-parameter yang telah diberi batas tersebut selanjutnya dapat digunakan untuk perhitungan *Sea Level Anomaly*. Perhitungan ini menggunakan perangkat lunak MATLAB R2017b. SLA didapatkan melalui persamaan berikut (Handoko, Fernandes, & Lazaro, 2017) :

$$SLA = H - R_{obs} - \Delta RGEO_{Corss} - MSS \quad (1)$$

R_{obs} atau *range* didapatkan melalui (Webb & Hall, 2016) adalah sebagai berikut

$$R_{obs} = R_{wd} + R_{retrack} \quad (2)$$

$\Delta RGEO_{Corss}$ mengacu terhadap koreksi jarak dan koreksi geofisika : *dry dan wet tropospheric corrections, ionospheric correction, sea state bias, dynamic atmospheric correction, tides (solid earth, ocean, load and pole)* dan *reference frame offset*, seperti Persamaan (3)

$$\Delta R_{GEO_{Corrs}} = \Delta R_{dry} + \Delta R_{wet} + \Delta R_{iono} + \Delta R_{SSB} + \Delta R_{DAC} + \Delta R_{tides} + R_{RFO} \quad (3)$$

ΔR_{dry} , ΔR_{wet} , ΔR_{iono} , dan ΔR_{SSB} adalah koreksi karena interaksi antara sinyal radar dengan atmosfer dan dengan permukaan laut. ΔR_{DAC} dan ΔR_{tides} adalah koreksi terkait dengan fenomena geofisika yang harus diperhitungkan. R_{RFO} hanya diperlukan saat data multi – misi digunakan. Sehingga rumus perhitungan *sea level anomaly* adalah sebagai berikut.

$$SLA = H - R_{obs} - \Delta R_{dry} - \Delta R_{wet} - \Delta R_{iono} - \Delta R_{SSB} - \Delta R_{DAC} - \Delta R_{tides} - MSS \quad (4)$$

Keterangan:

SLA	= <i>Sea Level Anomaly</i>
H	= <i>altitude</i> (tinggi orbit satelit dengan referensi dari ellipsoid)
R_{obs}	= <i>range</i>
$R_{GEO_{Corrs}}$	= <i>geophysical correction</i>
R_{wd}	= <i>window delay</i>
$R_{retrack}$	= koreksi track yang diperoleh
ΔR_{dry}	= <i>dry trophospheric correction</i>
ΔR_{wet}	= <i>wet trophospheric correction</i>
ΔR_{iono}	= <i>ionospheric correction</i>
ΔR_{SSB}	= <i>sea state bias</i>
ΔR_{DAC}	= <i>dynamic atmospheric correction</i>
ΔR_{tides}	= <i>tides (solid earth, ocean, load and pole) correction</i>
MSS	= <i>Mean Sea Surface</i> .

Semua variabel memiliki satuan meter, namun untuk kebutuhan analisis satuan SLA dapat dikonversi menjadi satuan milimeter. Setiap data SLA akan diratakan dengan pembobotan berdasarkan lintang. Perhitungan rata-rata SLA dilakukan untuk per-cycle dan per-bulan(sub-cycle). Bobot diterapkan pada masing-masing nilai pengamatan yang dipertimbangkan berdasarkan kosinus dari posisi lintangnya (Gleisner, 2011). Data SLA juga diratakan antara bulan sebelum dan berikutnya (bi-monthly) untuk menyesuaikan dengan data MEI. Hasil rata-rata SLA akan disimpan dalam ekstensi *.txt.

Selanjutnya melakukan *Gridding* dari hasil data SLA yang telah diratakan per-bulan. Ukuran *grid* adalah $1^\circ \times 1^\circ$. Hasil akhirnya adalah peta kontur yang memvisualisasikan SLA pada seluruh wilayah penelitian yang telah ditampilkan dengan *base map*. Hasil data SLA yang telah diratakan per-bulan (sub-cycle) juga diolah di perangkat lunak RStudio untuk *Time Series Decomposition*. Proses ini untuk mengekstrak data SLA menjadi *seasonal*, *trend*, dan *remainder*. Metode yang digunakan adalah STL (*Seasonal-Trend Decomposition Procedure Based on Regression*) yang menggunakan *iterative loess smoothing* untuk mendapatkan pola tren (Cleveland, Cleland, McRae, & Terpenning, 1990). Hasil tren SLA adalah tren yang telah dihapus pola musimannya.

Perhitungan tren linier untuk mengetahui fenomena kenaikan atau penurunan muka air laut terhadap data tren sub-cycle SLA Cryosat-2. Perhitungan menggunakan pendekatan regresi linear dengan persamaan sebagai berikut (Montgomery, Peck, & Vining, 2012) :

$$y = ax + b \quad (5)$$

dimana y adalah variabel independen (terikat), x adalah variabel independen (bebas) yang menyatakan waktu, a adalah slope atau kemiringan fungsi dari garis, dan b adalah intersep garis lurus (nilai y ketika melintas sumbu Y). Nilai y adalah nilai yang dicari yaitu tren kenaikan muka laut. Nilai variabel x dapat dilakukan dengan menyubstitusi nilai variabel terikat dengan data tahunan.

Selanjutnya untuk mengetahui korelasi antara SLA dan ENSO di wilayah Laut Jawa, maka melakukan perhitungan nilai koefisien korelasi menggunakan *Multivariate ENSO Index* (MEI) dari NOAA dan data

detren *bimonthly* SLA Cryosat-2 selama periode penelitian. Salah satu teknik penentuan nilai koefisien korelasi adalah *Pearson's correlation coefficient*, dengan rumus sebagai berikut (Mikhail & Gracie, 1981):

$$Q_{xy} = \frac{\sigma_{xy}}{\sigma_x \cdot \sigma_y} \quad (6)$$

Keterangan :

Q_{xy} = koefisien korelasi σ_x = standar deviasi x
 σ_{xy} = kovarians xy σ_y = standar deviasi y .

Nilai koefisien korelasi berkisar antara -1 hingga 1, yang artinya nilai positif menunjukkan hubungan searah dan nilai negatif menunjukkan hubungan tidak searah. Interpretasi kekuatan dari nilai koefisien diperlukan untuk mempermudah menganalisis.

Tabel 3. Interpretasi Kekuatan Korelasi (Hinkle, Wiersma, & Jurs, 2003)

Nilai korelasi	Interpretasi
0 sampai 0,3 (0 sampai -0,3)	Korelasi sangat rendah
0,3 sampai 0,5 (-0,3 sampai -0,5)	Korelasi rendah
0,5 sampai 0,7 (-0,5 sampai -0,7)	Korelasi cukup
0,7 sampai 0,9 (-0,7 sampai -0,9)	Korelasi tinggi
0,9 sampai 1 (-0,9 sampai -1)	Korelasi sangat tinggi

Koefisien +1 menunjukkan adanya korelasi positif sempurna dan koefisien -1 menunjukkan adanya korelasi negatif sempurna (Anjasmara, 2016). Nilai koefisien korelasi 0 menandakan bahwa tidak adanya korelasi pada kedua variabel.

Hasil dan Pembahasan

1. Perhitungan SLA dan Rata-Rata SLA

Hasil perhitungan SLA adalah ketinggian permukaan laut yang bereferensi pada *mean sea surface* atau bidang geoid. Hasil SLA telah dihilangkan dari pengaruh atmosfer dan pengolahan menggunakan perangkat lunak MATLAB. Berikut adalah hasil perhitungan pada sepuluh data awal.

Tabel 4. Hasil Perhitungan SLA

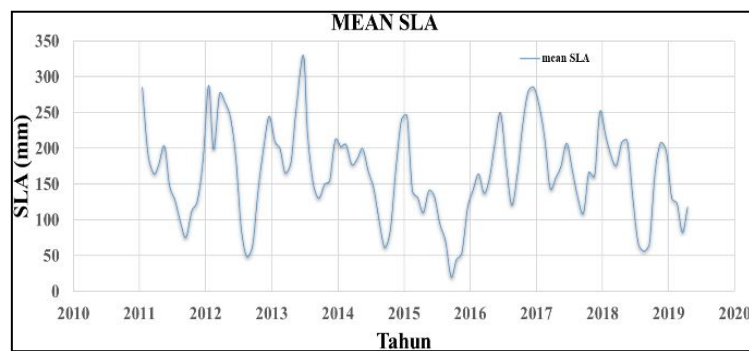
Cycle	MJD	Lat	Long	SSH (m)	SLA(m)	YYF
12	58498.320972	-7.120396	112.209021	29.074	-0.764	2019.0392355
12	58498.320995	-6.978390	112.194179	30.989	0.661	2019.0392356
12	58498.321007	-6.918311	112.187900	31.174	0.661	2019.0392356
12	58498.321007	-6.912850	112.187330	31.165	0.638	2019.0392356
12	58498.321019	-6.901926	112.186188	31.242	0.685	2019.0392357
12	58498.321019	-6.896465	112.185618	31.165	0.594	2019.0392357
12	58498.321019	-6.891003	112.185047	31.115	0.529	2019.0392357
12	58498.321019	-6.885542	112.184476	31.345	0.744	2019.0392357
12	58498.321019	-6.882811	112.184191	30.638	0.03	2019.0392357
12	58498.321019	-6.880080	112.183905	30.689	0.074	2019.0392357

Perhitungan SLA dilakukan untuk data per-cycle dan sub-cycle dengan jumlah 11 cycle dan 100 bulan selama periode penelitian yaitu Januari 2011 sampai dengan April 2019. Selanjutnya hasil perhitungan rata-rata SLA dengan pembobotan berdasarkan lintangnya. Berikut adalah hasil perhitungan SLA rata-rata pada data cycle.

Tabel 5. Hasil Perhitungan SLA Rata-Rata

Cycle	mean_MJD	mean_SSH(mm)	mean_SLA(mm)	mean_YYF
2	55583.990905	30928.6612	257.6232	2011.0602491
3	55767.322119	31887.4927	139.0759	2011.5625264
4	56016.903094	31852.4479	249.9652	2012.2456358
5	56197.140215	31879.0026	126.0379	2012.7380880
6	56470.907857	31719.6215	188.313	2013.4874190
7	56841.292072	32147.7850	161.5292	2014.5021701
8	57114.368741	32152.8202	149.7181	2015.2503253
9	57292.463462	31613.8758	64.9922	2015.7382561
10	57725.155847	31857.4270	183.0078	2016.9218958
11	58156.569548	31933.7768	168.8192	2018.1029303
12	58548.819520	31880.4393	107.5537	2019.1775877

Berdasarkan hasil perhitungan penelitian ini, SLA rata – rata tertinggi terdapat di cycle 4 pada tahun 2012 dengan nilai 249,9652 mm, sedangkan SLA rata-rata terendah terdapat pada cycle 9 pada tahun 2015 dengan nilai 64,9922 mm. Pada data persub-cycle, SLA rata-rata tertinggi terdapat di bulan Juni 2013 dengan nilai 329,8045mm, sedangkan rata-rata terendah di bulan September 2015 dengan nilai 20,0936 mm. Pada data bi-monthly Cryosat-2, SLA rata – rata tertinggi terdapat pada tahun 2013 dengan nilai 323,7272 mm , sedangkan SLA rata – rata terendah terdapat pada tahun 2015 dengan nilai 27,8184 mm.

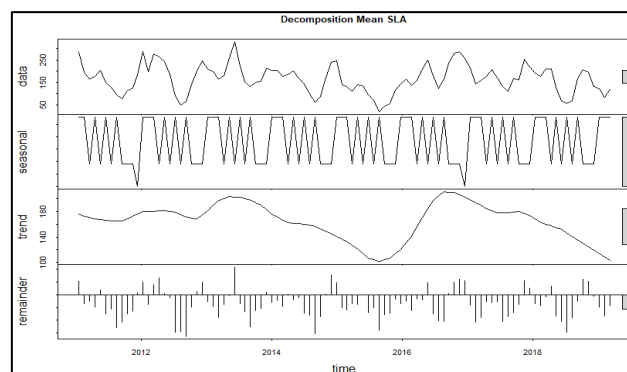


Gambar 3. Grafik SLA Rata-Rata Cryosat-2

Dari Gambar 3, dapat dilihat pola rendah dan tingginya SLA rata – rata persub-cycle yang mana disebutkan sebelumnya adalah terendah pada bulan September tahun 2015 dan tertinggi pada bulan Juni tahun 2013.

2. Time Series Decomposition dan Pengolahan Tren

Pengolahan *time series decomposition* pada perangkat lunak Rstudio menghasilkan 4 grafik yaitu *raw data*, *seasonal*, *trend*, dan *remainder*. Semua hasil data pada grafik tersebut mempunyai satuan milimeter (mm).

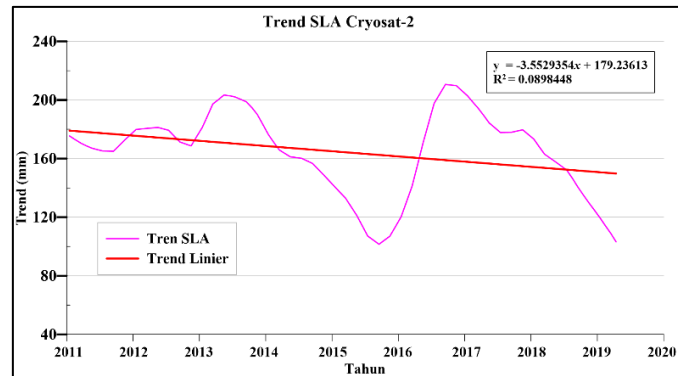


Gambar 4. Hasil Dekomposisi Data Cryosat-2

Gambar 4 menunjukkan grafik seasonal terlihat perulangan pola setiap tahunnya, namun terdapat satu pola menurun yang terjadi dua kali selama periode pengamatan. Hal tersebut bisa terjadi karena ada fenomena drastis selama periode waktu penelitian. Berdasarkan grafik tren pada Gambar 4 memiliki tren dengan pola menurun. Hasil dekomposisi juga menunjukkan terdapat penurunan tren yang cukup drastis pada tahun 2014 – 2015 sebesar 59,7019 mm. Tahun 2017 hingga 2019, terjadi penurunan tren sebesar 76,4575 mm.

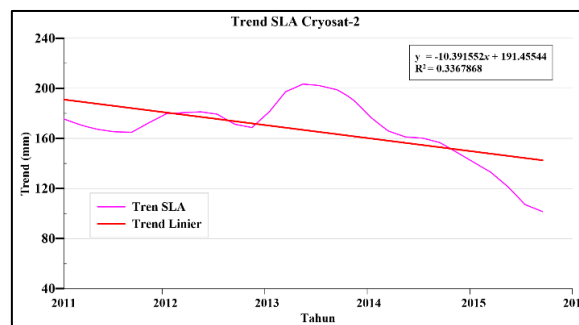
3. Tren Linier

Perhitungan regresi linier dari data tren SLA rata-rata mendapatkan pola grafik seperti pada Gambar 5 dengan persamaan $y = -3,5529x + 179,23613$. Variabel a pada persamaan tersebut memiliki nilai negatif yang menandakan tren linier menurun.

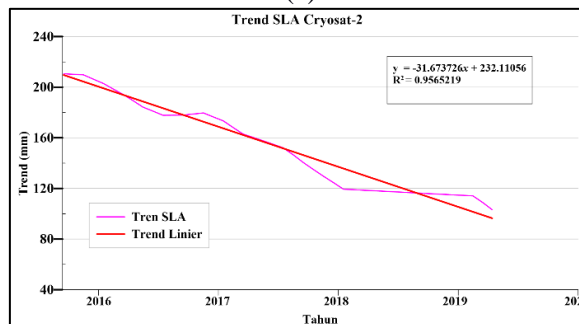


Gambar 5. Grafik Regresi Linier Tren SLA Rata-Rata Cryosat-2

Berdasarkan regresi linier SLA tersebut, permukaan Laut Jawa dari tahun 2011 sampai dengan 2019 mengalami penurunan sebesar 28,4235 mm dengan laju -3,55 mm/tahun. Dari hasil penggambaran tersebut dapat dilihat bahwa terjadi 2 kali penurunan muka laut yang cukup drastis. Penurunan permukaan laut yang pertama berada di periode 2011 hingga 2015. Penurunan kedua berada di periode akhir 2016 hingga akhir data 2019. Persamaan regresi linier untuk grafik pada Gambar 6(a) adalah $y = -10,3915x + 191,4554$ dan grafik 6(b) adalah $y = -31,6737x + 232,1106$.



(a)

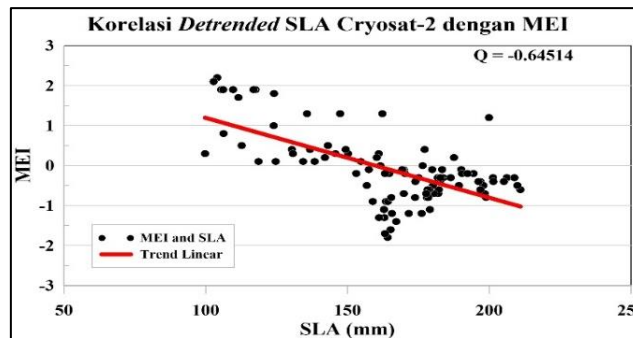


(b)

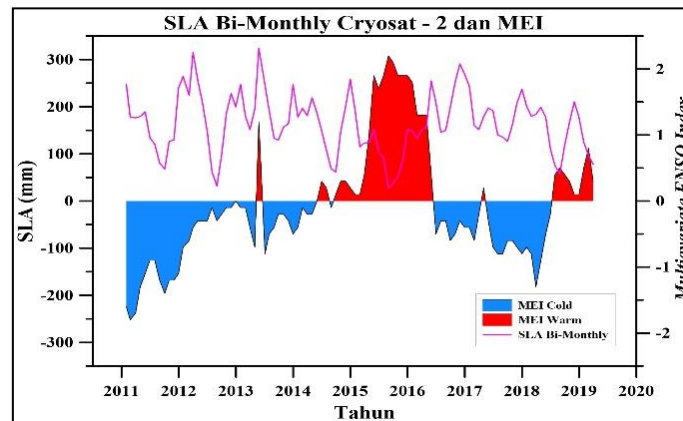
Gambar 6. (a) Grafik Tren Linier 2011-2015 (b) Grafik Tren Linier 2016-2019

4. Nilai Koefisien Korelasi

Gambar 7 menunjukkan garis merah adalah tren linier data *detrended* SLA Cryosat-2 *bi-monthly* dengan MEI. *Detrended* SLA didapatkan dari pengurangan nilai tren linier SLA Cryosat – 2 terhadap nilai SLA itu sendiri. Nilai negatif pada variabel a menunjukkan turunnya tren linier sejalan dengan nilai koefisien korelasi antara *detrended* SLA dengan MEI sebesar $-0,6451$. Nilai korelasi yang negatif menandakan terdapat hubungan yang tidak searah artinya semakin tinggi nilai MEI maka nilai SLA akan semakin rendah.



Gambar 7. Grafik Korelasi *Detrended* SLA Cryosat-2 dengan MEI



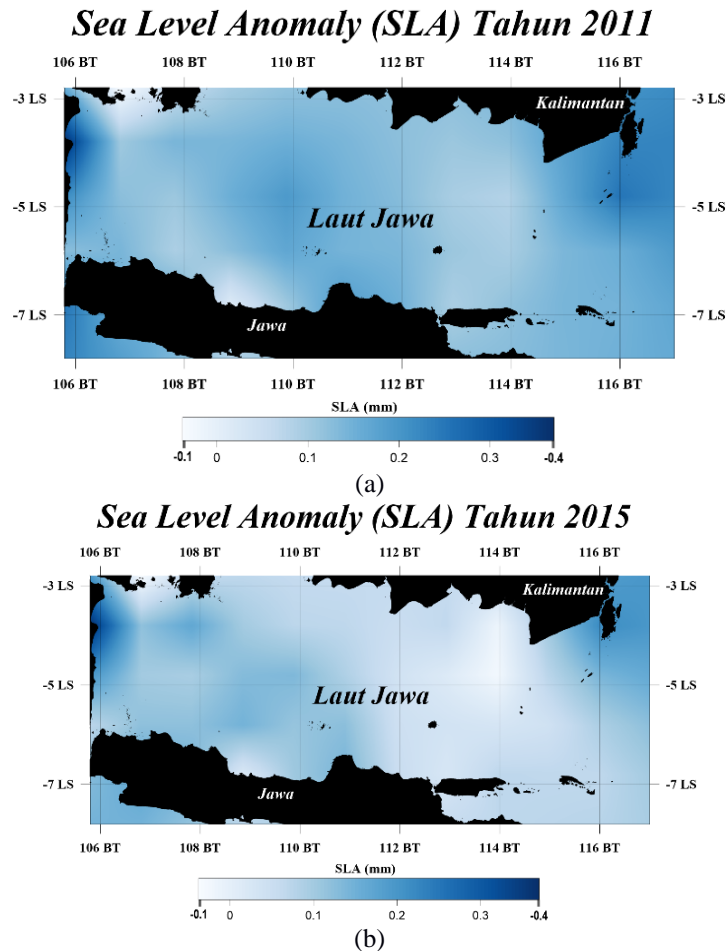
Gambar 8. Grafik SLA *Bi-Monthly* Cryosat-2 dengan MEI

Penggambaran hubungan antara SLA *bi-monthly* Cryosat-2 di Laut Jawa dengan ENSO dari data MEI di Samudera Pasifik ditunjukkan oleh Gambar 7. Data SLA *bi-monthly* Cryosat – 2 digambarkan dengan garis berwarna ungu. Irisan grafik berwarna merah menggambarkan nilai positif pada data MEI berdasarkan pengaruh El-Niño (fase hangat), sedangkan irisan berwarna biru menggambarkan nilai negatif berdasarkan pengaruh La-Niña (fase dingin).

Secara keseluruhan, grafik diatas menunjukkan hubungan yang berbanding terbalik atau tidak searah antara data SLA *bi-monthly* Cryosat – 2 dengan data MEI dari tahun 2011 sampai dengan April 2019. Interpretasi korelasi berdasarkan Tabel 3 menyatakan koefesien korelasi memiliki cukup hubungan. Hubungan tersebut dapat dilihat dari Gambar 8 , saat mulai terjadi fenomena El-Nino maka variasi permukaan Laut Jawa mulai menurun dan ketika fenomena El-Nino terjadi permukaan Laut Jawa mengalami penurunan. Saat mulai terjadi fenomena La-Nina maka variasi permukaan Laut Jawa mulai naik dan ketika fenomena La-Nina terjadi permukaan Laut Jawa mengalami kenaikan.

Namun, terdapat bagian yang tidak sesuai untuk menggambarkan hubungan yang tidak searah yaitu pada tahun 2013-2014. Hal tersebut menunjukkan tidak tingginya korelasi karena masih ada bagian yang tidak mendefinisikan hasil perhitungan korelasi. Ini bisa terjadi karena data MEI yang menggambarkan karakteristik dari Samudera Pasifik dimana ENSO teramat.

Fenomena El-Nino yang cukup ekstrim pada tahun 2015 menandakan bahwa suhu permukaan laut Samudera Pasifik meningkat dan meningkatnya curah hujan di daerah tersebut. Sehingga mengakibatkan sebagian wilayah Laut Indonesia mengalami kekeringan karena terhambatnya pembentukan awan dan terjadinya penurunan nilai SLA dipermukaan Laut Jawa. Gambar 9. menampilkan *sea level anomaly* tahun 2011 dan 2015 secara spasial di Laut Jawa.

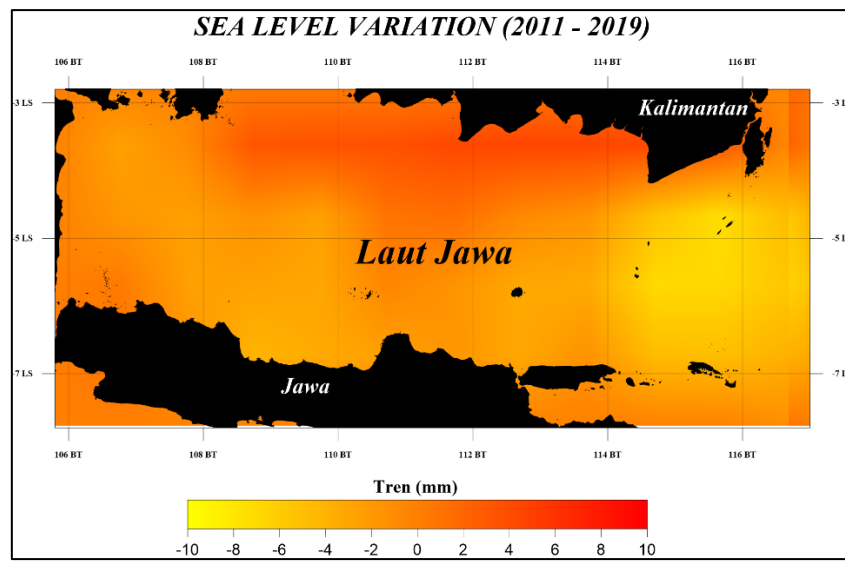


Gambar 9. *Sea Level Anomaly* di Laut Jawa (a) Tahun 2011 (b) Tahun 2015

Penurunan tren yang cukup drastis pada tahun 2014-2015 dan menurunnya permukaan laut dari hasil regresi linier sejalan dengan fenomena El-Niño yang terjadi pada tahun yang sama. Pada penelitian L.Q.Avia dan I.Sofiati (2018) menjelaskan pada pertengahan Maret 2015 hingga akhir Juni 2015, fenomena El-Niño dimulai dengan intensitas yang lemah dan terus meningkat dengan intensitas yang kuat pada November 2015. Fenomena ini yang menyebabkan penurunan permukaan Laut Jawa.

5. Hasil Gridding SLA

Gridding menggunakan data SLA Cryosat-2 yang telah dikelompokkan pada sub-cycle. Proses ini bertujuan untuk memvisualisasikan tren SLA Laut Jawa dalam bentuk peta setelah ditampilkan dengan base map. Ukuran *grid* SLA sebesar $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ disesuaikan dengan ukuran *equatorial track distance* satelit Cryosat – 2 yang memiliki jarak 7,5 km. Konversi data SLA ke dalam format grid dilakukan di perangkat lunak Surfer 10 dengan metode *data metric – Z order mean*.



Gambar 10. Sea Level Variatin di Laut Jawa

Gambar 10 merupakan gambaran variasi kenaikan muka air laut di Laut Jawa. Dengan sebaran SLA berada pada rentan -10mm sampai dengan 10mm yang divisualisasikan dengan warna kuning hingga oren. Semakin berwarna oren maka nilai semakin tinggi, bila semakin kuning maka nilai semakin kecil.

Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh pengarang, dapat ditarik kesimpulan bahwa selama periode pengamatan yaitu 2011 sampai dengan 2019 di Laut Jawa mengalami penurunan permukaan laut. Penurunan permukaan laut berdasarkan tren sebesar 28,4235 mm dengan laju -3.55 mm/tahun di Laut Jawa. Fenomena ini dipengaruhi oleh ENSO, terutama pada tahun 2014-2015 saat fenomena El-Nino dengan intensitas yang kuat. Koefisien korelasi yang didapatkan dari *Multivariate ENSO Index* (MEI) dengan *sea level anomaly* (SLA) Cryosat-2 adalah -0,6451 yang menandakan korelasi memiliki hubungan yang cukup namun tidak searah. Semakin tinggi nilai MEI maka nilai SLA akan semakin rendah di Laut Jawa, bergitupun sebaliknya.

Ucapan Terimakasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada NOAA sebagai sumber data yang digunakan dalam penelitian ini.

Daftar Pustaka

- Anjasmara, I. (2016). *Kovarians dan Korelasi*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Avia, L. Q., & Sofiati, I. (2018). Analysis of El Nino and IOD Phenomenon 2015/2016 and Their Impact on Rainfall Variability in Indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 166.
- Badan Informasi Geospasial. (2015, January 15). *Badan Informasi Geospasial*. (BIG) Retrieved Juny 12, 2020, from <https://big.go.id/content/berita/pentingnya-informasi-geospasial-untuk-menata-laut-indonesia>
- BAPPENAS. (2009). *Indonesia Climate Change Sectoral Roadmap (ICCSR)*. BAPPENAS.
- Cleveland, R. B., Cleeland, W. S., McRae, J. E., & Terpenning, I. (1990). STL: A Seasonal-Trend Decomposition Procedure Base on Loess. *Journal of Official Statistics* 6(1), 3-73.
- Gleisner, H. (2011). *Latitudinal Binning and Area-Weighted Averaging of Irregularly Distributed Radio Occulation Data*. _: GRAS SAF Meteorology.
- Gordon, A. L. (2005). Oceanography of the Indonesian Seas and Their Throughflow . *Oceanography*, 18, 14-27.
- Handoko, E. Y., Hariyadi, & Wirasatriya, A. (2018). The ENSO's Influence on the Indonesian Sea Level Observed Using Satellite Altimetry, 1993-2016. *IEEE Asia-Pacific Conference on Geoscience, Electronics and Remote Sensing Technology (AGERS)*. Jakarta.

- Handoko, E., Fernandes, M., & Lazaro, 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, 102: 1 - 32.
- Hinkle, D. E., Wiersma, W., & Jurs, S. G. (2003). *Applied Statistics for the Behavioral Sciences, 5th Edition*. Houghton Mifflin .
- Karondia, L. A., Handoko, E. Y., & Hapsari, H. (2019). 3D Modelling Analysis of Sea-Level Rise Impact in Semarang, Indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 389.
- Mayer, V. (2013). *Cryosat-2 for Hydrological Purpose Data Processing, Visualization and Analysis*. Stuttgart: University of Stuttgart.
- Mertz, F., Dumont, J., & Urien, S. (2017). *Baseline-C CryoSat Ocean Processor*. Paris: ESA.
- Mikhail, E. M., & Gracie, G. (1981). *Analysis and Adjustment of Survey Measurements*. New York: Van Nostrand Reinhold Co.
- Montgomery, D. C., Peck, E. A., & Vining, G. G. (2012). *Introduction to Linear Regression Analysis 5th Edition*. New Jersey: Wiley: A John & Sons, Inc.
- Scharroo, R. (2018). *RADS Data Manual*. Radar Altimeter Database System.
- Taufik, M., & Budisusanto, Y. (2018). *Penulisan Jurnal*. Surabaya: Geoid Geomatika ITS.
- Webb, E., & Hall, A. (2016). *Geophysical Correction in Level 2 Cryosat Data Products*. European Space Agency(ESA).
- Webb, E., & Hall, A. (2016). *Geophysical Correction in Level 2 Cryosat Data Products IDEAS-VEG-IPF-MEM-1288 Ver. 5.1* (Vol. Version 5.1). Italy: European Space Agency(ESA).
- Wirasatriya, A., Hartoko, A., & Suripin. (2006). Kajian Kenaikan Muka Laut Sebagai Landasan Penanggulangan ROB di Pesisir Kota Semarang. *Jurnal Pasir Laut*, 1(2), 31-42.
- Wolter, K., & Timlin, M. S. (2011). El Niño/Southern Oscillation behaviour since 1871 as diagnosed in an extended multivariate ENSO index (MEI.ext). *International Journal of Climatology*, 31, 1074 - 1087.



This article is licensed under a [Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/).