

# KAJIAN PERUBAHAN TINGGI MUKA LAUT PADA SAAT SIKLON TROPIS DAHLIA DI PESISIR LAMPUNG

Fajar Sidiq Ariwibowo<sup>1)\*</sup> Ahmad Fadlan<sup>2)\*</sup> Danu Triatmoko<sup>3)\*</sup>

<sup>1,3)</sup> Stasiun Meteorologi Sangia Nibandera Kolaka

<sup>2)</sup> Sekolah Tinggi Meteorologi Klimatologi dan Geofisika

\*Korespondensi : ariewibowo13@gmail.com

## ABSTRACT

*This study aims to determine changes in the components of wind direction and speed during tropical cyclones by utilizing the ECMWF Era-Interim Reanalysis model data analyzed in the form of a time series graph. In addition, to determine the effect of the Dahlia Tropical Cyclone on changes in sea level on the Lampung Coast, a study was conducted by simulating sea level changes using the Delft-3d hydrodynamic model during the tropical cyclone event. The method used is comparative by comparing the output of hydrodynamic models to tidal measurements at 2 research points, namely Krui and Kota Agung tides. The data used are FNL wind data with a grid resolution of  $0.25^\circ \times 0.25^\circ$  and bathymetry data from gebco with a resolution of 30 seconds. The results showed that the performance of the hydrodynamic model was able to represent sea level well where the RMSE value was 0.36 for Krui Pasut Station, 0.23 for Kota Agung Pasut Station. While the correlation coefficient for Krui Pasut Station is 0.87 and 0.82 for Kota Agung tide station.*

**Keywords :** Delft 3D, Cyclone Dahlia, Sea Level Change

## ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui perubahan komponen arah dan kecepatan angin pada saat siklon tropis dengan memanfaatkan data model ECMWF Reanalysis Era-Interim yang dianalisis dalam bentuk grafik time series. Selain itu, untuk mengetahui pengaruh Siklon Tropis Dahlia terhadap perubahan tinggi muka laut di Pesisir Lampung maka dilakukan penelitian dengan mensimulasikan perubahan tinggi muka laut menggunakan model hidrodinamika Delft-3d pada saat kejadian siklon tropis. Metode yang digunakan adalah komparatif dengan membandingkan keluaran model hidrodinamika terhadap pengukuran pasang surut di 2 titik penelitian yaitu pasang surut Krui dan Kota Agung. Data yang digunakan adalah data angin FNL dengan resolusi grid  $1^\circ \times 1^\circ$  dan data batimetri dari gebco dengan resolusi 30 detik. Hasil penelitian menunjukkan performa model hidrodinamika mampu merepresentasikan tinggi muka laut dengan baik dimana nilai RMSE sebesar 0,36 untuk Stasiun Pasut Krui, 0,23 untuk Stasiun Pasut Kota Agung. Sedangkan koefisien korelasi untuk Stasiun Pasut Krui sebesar 0,87 dan 0,82 untuk stasiun pasut Kota Agung.

Kata kunci : Delft 3D, Siklon Dahlia, Perubahan Tinggi Muka Laut

## PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara kepulauan dikawasan tropis yang secara geografis terletak diantara dua benua dan dua samudera. Indonesia sebagai negara kepulauan tersusun lebih dari 17.504 pulau dan memiliki panjang pantai mencapai 99.093 km. Hal ini menempatkan Indonesia sebagai negara

kepulauan dengan pantai terpanjang kedua didunia dengan kondisi pesisir yang beragam dan menjadikannya sebagai pusat dari aktivitas sirkulasi atmosfer dan sirkulasi laut global (Aldrian, 2008). Kondisi ini mempengaruhi dinamika oseanografi di wilayah lautan Indonesia dan secara umum menjadikannya terbebas dari pembentukan siklon tropis. Menurut Neirburger (1995), siklon tropis tidak terjadi didaerah  $4^\circ$  LU dan  $4^\circ$  LS dari equator.

Meskipun demikian, dampak siklon tropis secara tidak langsung menyebabkan pembentukan *storm surge* yang berpengaruh terhadap perubahan *sea level* di wilayah pesisir (TCWC BMKG).

Perubahan *sea level* yang dipengaruhi *wind setup* dari pembentukan siklon tropis, secara bersamaan dapat mengalami interferensi gelombang *storm surge* dengan pasang surut harian. Interferensi gelombang dapat bersifat konstruktif dan destruktif yang dapat menyebabkan *Sea Level Anomaly* (SLA). SLA adalah besarnya penyimpangan yang terjadi terhadap kondisi rata-rata tinggi muka laut atau *Mean Sea Level* (MSL). Tinggi muka laut (TML) yang dikenal dengan istilah *Sea Surface Height* (SSH) adalah jarak antara permukaan laut dengan referensi elipsoid bumi (Marpaung dan Harsanugraha, 2014). *Sea Level Anomaly* (SLA) yang dipengaruhi oleh *storm surge* dianalisis berdasarkan peningkatan kecepatan angin zonal dan meridional sehingga menghasilkan SLA sebesar 0,38 meter dan TML mencapai 1,14 meter pada saat Siklon Tropis Cempaka di Laut Selatan Jawa (Firdianto, 2018). Selain itu, pengaruh badai tropis di kawasan Laut Cina Selatan menyebabkan kenaikan *Sea Level* di perairan Jakarta sebesar 70 cm (Sofian, 2012) yang dapat mempertinggi resiko banjir pesisir dikawasan tersebut.

Banjir pesisir merupakan fenomena limpasan air laut disebabkan kenaikan tinggi muka laut (*Sea Level Rise*) ke daerah pesisir dengan elevasi yang lebih rendah dengan topografi yang landai. Secara geografis daerah Pesisir Lampung berbatasan langsung dengan Samudera Hindia dimana bibit siklon sering terbentuk sehingga kawasan tersebut rentan dilanda banjir pesisir yang disebabkan oleh kenaikan *sea level* dan gelombang pasang sehingga dapat menimbulkan kerugian harta dan mengganggu aktivitas masyarakat. Berdasarkan informasi dari media massa akibat cuaca ekstrem pada saat kejadian Siklon Tropis Dahlia terjadi banjir yang merendam beberapa rumah warga dan akses jembatan antar provinsi terputus. Dalam penelitian ini penulis akan mencoba untuk melakukan analisa dan simulasi perubahan *Sea Level* pada saat kejadian Siklon Tropis Dahlia 30 November – 3 Desember 2017 untuk mengetahui seberapa besar pengaruhnya terhadap perubahan *Sea Level* di Pesisir Lampung menggunakan model hidrodinamika Delft 3D.

## KAJIAN PUSTAKA

Menurut Triatmodjo (1999) pasang surut adalah fenomena alam yang menyebabkan fluktuasi TML air laut yang disebabkan oleh gaya gravitasi dan gaya tarik menarik dengan benda – benda di langit sehingga mengakibatkan naik turunnya air laut dan menghasilkan dua tonjolan (*bulge*) pasang surut gravitasional di laut. Pasang surut merupakan fenomena perubahan TML yang diakibatkan oleh gaya tarik menarik dari benda – benda di langit dalam masa periode yang pendek secara periodik (Garisson, 2006 dalam Kalay, 2008). Perubahan ketinggian pasang surut juga dapat dipengaruhi kondisi meteorologis pada saat tertentu baik oleh perubahan angin maupun perubahan tekanan atmosferik, terutama pada saat badai (Supangat, 2000). Tinggi pasang surut adalah jarak vertikal antara air tertinggi (puncak air pasang) dan air terendah (lembah air surut) yang berurutan. Pengaruh angin dan tekanan atmosferik rendah yang digabungkan dapat menimbulkan pasang surut yang sangat tinggi, disebut sebagai *storm surge positif*, yang akan mengancam daerah pantai yang landai dengan kemungkinan banjir. Pada sisi lain, beberapa daerah akan mengalami pasang surut yang abnormal, disebut sebagai *storm surge negatif*, yang akan menimbulkan masalah pada lautan dangkal (Supangat, 2000).

Penelitian mengenai dampak Siklon Tropis Anggrek terhadap kondisi perairan Laut Selatan Jawa bagian Barat dan Bengkulu telah dilakukan oleh (Fadlan, A., 2014) dimana secara khusus mengkaji transport ekman dan pengaruhnya terhadap ketinggian muka laut.. Karena arah siklon yang menjauhi daratan, maka dampak Siklon Tropis Anggrek paling dirasakan di kawasan Pesisir Bengkulu pada awal pembentukan siklon. Akibat dari arah tranpor Ekman yang menjauhi pusat siklon, pada pusat siklon terjadi pembentukan *upwelling* yang membuat ketinggian muka lautnya menjadi lebih rendah dibandingkan sekitarnya, adapun pada kawasan pesisir, arah transpornya menuju kekawasan tersebut sehingga terjadi pembentukan *downwelling* di kawasan pesisir yang membuat ketinggian muka lautnya lebih tinggi. Dan akibat dari adanya fenomena *upwelling* tersebut membuat siklon tropis bergerak menuju perairan yang lebih hangat.

Perubahan TML dapat bersifat periodik maupun non periodik sehingga diperlukan

suatu kajian elevasi yang ditentukan berdasarkan data pasang surut. Elevasi tersebut merupakan penjumlahan dari beberapa parameter yaitu pasang surut, *wave setup*, *wind setup*, dan kenaikan muka air karena perubahan suhu global. Pengaruh *wind setup* dapat diperhitungkan dalam menentukan muka air laut meskipun sangat jarang terjadi badai di Indonesia (Triatmodjo, 2012), sehingga anomali muka laut berdasarkan penyimpangan terhadap rata-rata tinggi muka laut atau MSL yang dihasilkan bersifat non periodik.

## METODE

Jenis Penelitian ini adalah studi kasus pada kejadian Siklon Tropis dan pengaruhnya terhadap kondisi perairan di perairan sekitarnya. Data yang digunakan dalam penelitian ini:

1. Data citra satelit Himawari-8 Kanal-IR dengan format .dat yang memiliki periode 10 menit yang diperoleh dari Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG).
  2. Data FNL merupakan data *reanalysis* sebagai input model Delft3D yang diambil komponen angin u dan v yang bersumber dari US NOAA/NCEP (*National Center for Environmental Prediction*). Data yang mempunyai resolusi spasial 1 derajat (111 x 111 km) dengan resolusi temporal 6 jam. Data yang digunakan adalah dalam rentang waktu 25 November 2017 hingga 05 Desember 2017. Data tersebut dapat diunduh melalui website NCEP (<http://rda.ucar.edu/>).
  3. Data ECMWF Reanalysis (ERA-Interim) dengan format .nc untuk mengetahui komponen arah zonal-meridional dan kecepatan angin permukaan (10 m) pada titik koordinat stasiun pasut.
  4. Data pengukuran pasang surut realtime yang diperoleh dari Badan Informasi Geospasial (BIG) yaitu Stasiun Pasut Krui dan Stasiun Pasut Kota Agung.
  5. Data *Sea Level Anomaly* dari interpolasi optimal data level 4 pada pengukuran satelit Altimetri multitemporal 30 November – 2 Desember 2017 yang di peroleh dari (<http://marine.copernicus.eu/>). Adapun tahapan yang dilakukan dalam penelitian:
1. Identifikasi kejadian siklon tropis menggunakan data satelit Himawari -8 kanal IR- Enhanced menggunakan metode D-VORAK sehingga dapat diketahui pertumbuhan, pergerakan, dan intensitas Siklon Tropis berdasarkan D-VORAK T Number.
  2. Menganalisis data bulanan model angin permukaan secara *time series* dan spasial untuk mengetahui pengaruh Siklon Tropis terhadap pola dan kecepatan angin permukaan.
  3. Melakukan simulasi dan verifikasi pemodelan Delft-3D pada saat kejadian siklon tropis di wilayah penelitian untuk mengetahui performa model dengan mengkomparasikan Output model dengan data observasi *Sea Level* dari BIG.
  4. Menganalisis hasil output model Delft-3D secara spasial yang dikaitkan dengan perkembangan Siklon Tropis.
  5. Mengkomparasikan data observasi *water level* pada saat kejadian Siklon Tropis dengan data observasi sebelumnya pada fase bulan yang sama untuk mengetahui pengaruh Siklon Tropis terhadap *water level*.
  6. Memvisualisasikan dan menganalisis data observasi *Sea Level Anomaly* dari satelit Altimetri secara temporal.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

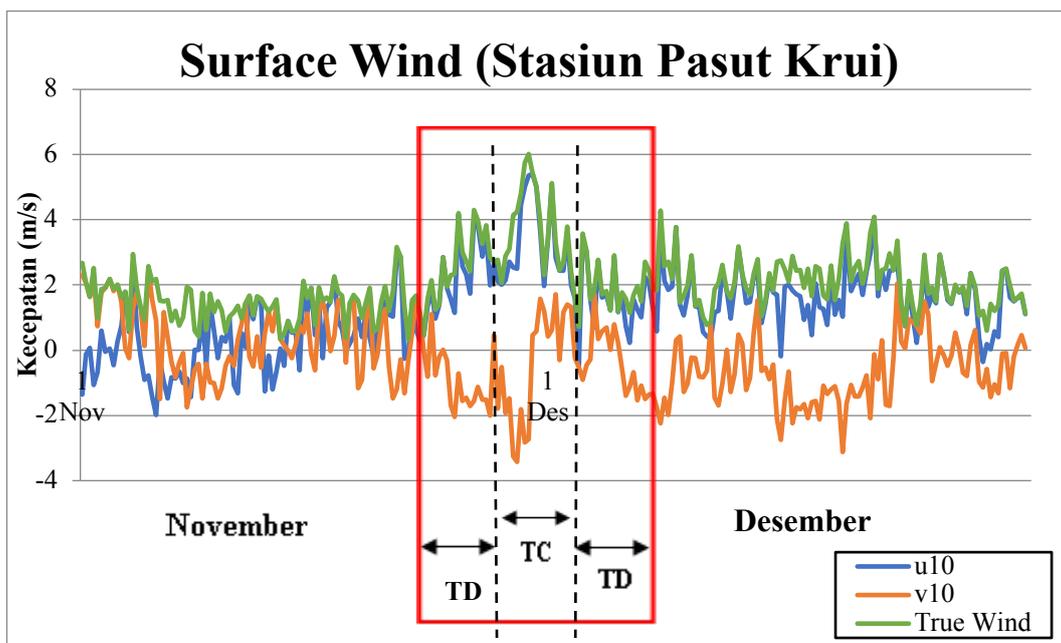
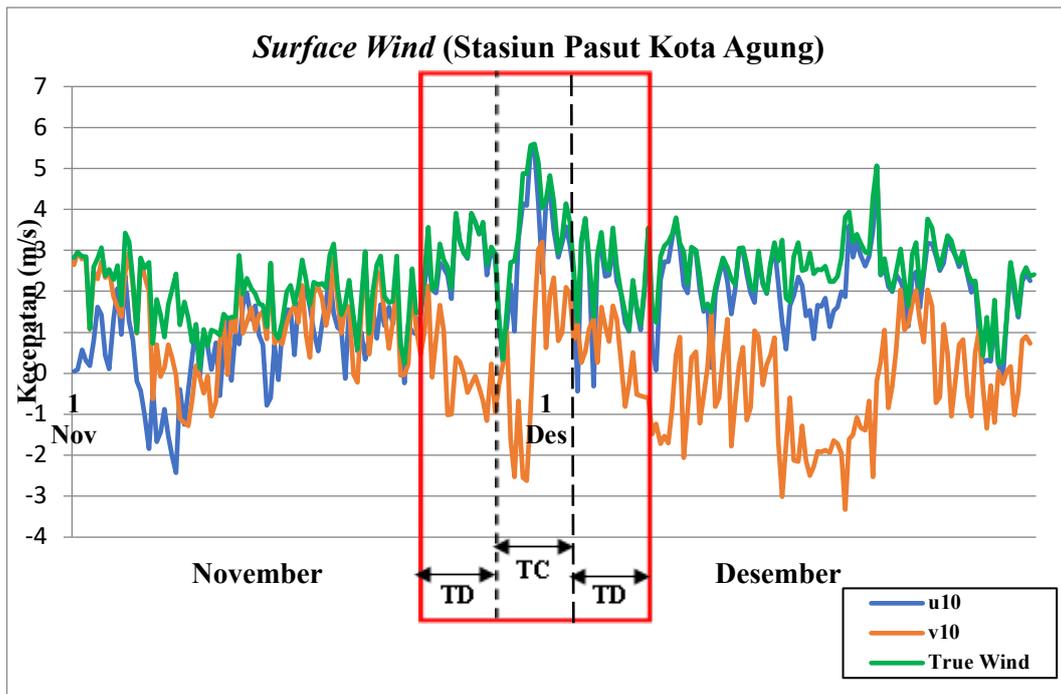
Identifikasi Siklon Tropis Dahlia diperoleh dari data satelit Himawari-8 kanal Enhanced Infrared Images (EIR) yang diolah menggunakan sataid berdasarkan distribusi suhu puncak awan sehingga dapat divisualisasikan model perawanan. Menurut Dvorak (1984), perkembangan model pola perawanan dapat dikaitkan dengan intensitas dari siklon tropis berupa laju angin maksimum dan tekanan minimum di pusat siklon menggunakan pendekatan statistik dan menciptakan sebuah metode untuk memperkirakan intensitas dari pola perawanan. Menurut Krismianto (2015), *Meteorological Satellite Center of Japan Meteorological Agency* (JMA) lebih sering menggunakan kanal tersebut karena lebih obyektif daripada analisis menggunakan kanal Visible (VS) untuk memprakirakan intensitas siklon tropis.

Identifikasi Siklon Tropis Dahlia dilakukan dengan melihat perkembangan awan berdasarkan pola *curve band type*. Untuk mengukur panjang band awan digunakan SATAID dengan menggunakan metode spiral sehingga dapat diperoleh T-Number yang menyatakan intensitas siklon yang ditinjau melalui citra satelit Himawari-8 kanal IR-Enhanced. Berdasarkan nilai T-Number yang diinterpretasikan menggunakan skala

Saffir-Simpson dapat diketahui bahwa pada tanggal 29 November 2017 jam 00.00 UTC sudah terlihat adanya TD (Tropical Depression). Fase matang dengan kategori TS (Tropical Storm), teramati mulai terjadi pada tanggal 30. Kemudian Siklon Tropis Dahlia memasuki fase purnya setelahnya pada tanggal 02 Desember 2017 jam 12.00 UTC dan periode waktu selanjutnya seperti pada tabel dibawah.

Tanggal	Jam (UTC)	Koordinat		T - Number	Skala Saffir - Simpson	Kecepatan (knot)	Tekanan Udara (mb)
		Lat	Lon				
29 -11 - 2017	00	-8.4	100.9	1.5	TD	25	1004.0
	06	-8.3	101.5	1.5	TD	25	1003.0
	12	-8.6	102.6	2	TD	30	998.0
	18	-8.6	103.5	2	TD	30	998.0
30 -11 - 2017	00	-8.8	104.9	2	TD	30	998.0
	06	-9.1	106.3	2.5	TS	35	995.0
	12	-9.2	107.4	2.5	TS	35	995.0
	18	-9.6	108.6	2.5	TS	35	993.0
01 -12 - 2017	00	-9.7	109.3	2.5	TS	35	987.0
	06	-10.2	109.6	2.5	TS	35	987.0
	12	-10.5	110.1	2.5	TS	35	985.0
	18	-10.7	110.5	2.5	TS	35	985.0
02 -12 - 2017	00	-10.6	110.8	2.5	TS	35	989.0
	06	-10.8	111.1	2.5	TS	35	989.0
	12	-11.2	111.6	2	TD	30	996.0

Tabel 1 Pengolahan Data Satelit Himawari-8 dengan Metode Dvorak



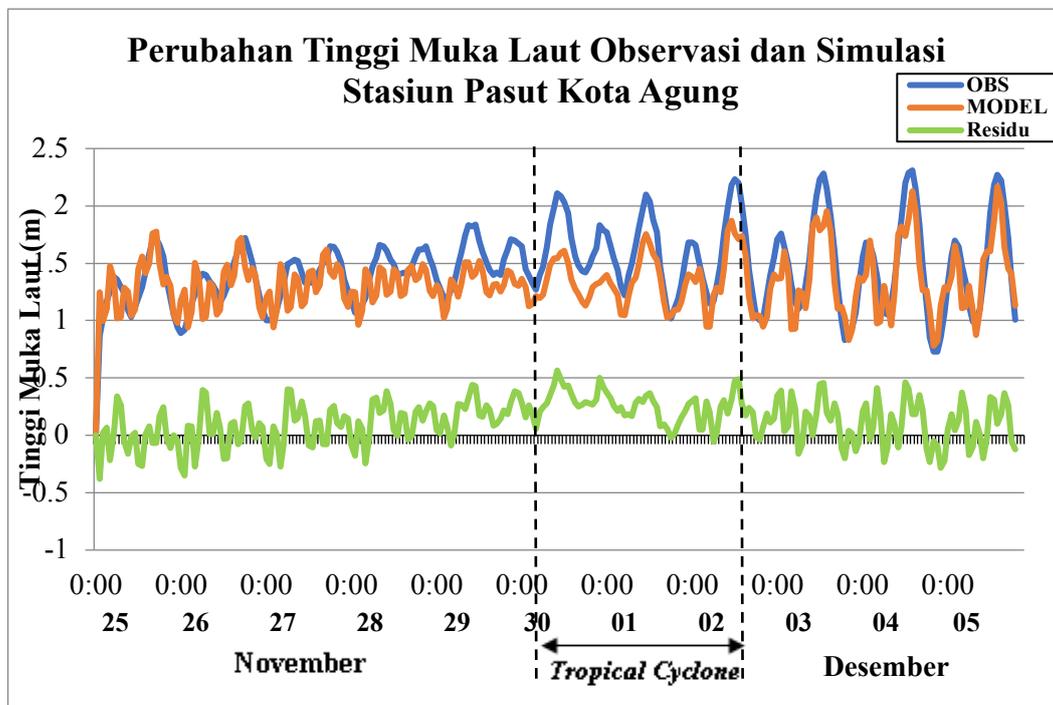
Gambar 2. Grafik *Time Series* Model Angin ECMWF

Berdasarkan gambar (2) diatas, untuk mengetahui perubahan komponen arah dan kecepatan angin dilokasi pengamatan pasut digunakan data model *wind surface reanalysis* ECMWF. Data komponen angin model disusun dalam bentuk grafik *time series* dimana *blue line* merepresentasikan perubahan kecapatan dan arah angin zonal, *orange line* merepresentasikan perubahan kecepatan dan arah angin meridional sedangkan *green line* hanya merepresentasikan kecepatan *true wind*.

Periode kejadian siklon tropis ditandai dalam kotak merah dimana terdapat fase perkembangan Siklon Tropis Dahlia. Sumbu Y menyatakan kecepatan dan arah komponen angin. Angin zonal memiliki arah melintang dimana nilai positif (+) berarti ke arah timur dan nilai negatif (-) ke arah barat. Angin meridional memiliki arah membujur dimana nilai positif (+) berarti ke arah utara dan nilai negatif (-) ke arah selatan. Sedangkan *true wind* dalam grafik di interpretasikan hanya dalam bentuk

kecepatan angin. Berdasarkan grafik diatas diketahui bahwa secara umum kondisi angin permukaan (10 meter) sebelum kejadian siklon tropis di titik pengamatan pasang surut Kota Agung dan Krui cenderung tenang dimana rata-rata kecepatan angin sebenarnya (*true wind*) sebesar 2 m/s. Hal ini menunjukkan fase peralihan musim terjadi pada bulan tersebut. Disisi lain terdapat peningkatan kecepatan angin sebenarnya (*True Wind*) untuk tanggal 25 November – 03 Desember 2017 dibandingkan dengan sebelum kejadian Siklon Tropis Dahlia. Pada tanggal 30 November 2018 jam 06.00 UTC, kecepatan angin sebenarnya (*True Wind*) bernilai maksimum mencapai 5,6 m/s di wilayah Pesisir Kota Agung sedangkan diwilayah Pesisir Barat Lampung bernilai maksimum mencapai 6 m/s. Secara umum arah angin zonal dominan bulan November ke arah

timur dan angin meridional ke arah Utara. Perubahan arah paling dominan terjadi pada angin meridional dimana pada fase siklon tropis cenderung ke arah selatan yang ditunjukkan dengan orange line yang bernilai negatif (-). Sedangkan pada bulan Desember secara umum kecepatan angin meridional ke arah Selatan yang mengindikasikan adanya pengaruh angin moonsonal yang bersifat kontinyu. Selain itu dapat diketahui bahwa periode bulan Desember memiliki kecepatan angin yang lebih kuat daripada bulan November yang ditunjukkan dengan selisih garis merah dan biru. Perubahan nilai positif dan negatif mengindikasikan adanya variasi arah sedangkan besar simpangan terhadap titik nol menunjukkan besarnya kecepatan angin dititik pengamatan stasiun pasang surut



Gambar 3. Grafik *Time Series* dari hasil Pemodelan *Water Level Delft-3d* dan data Observasi

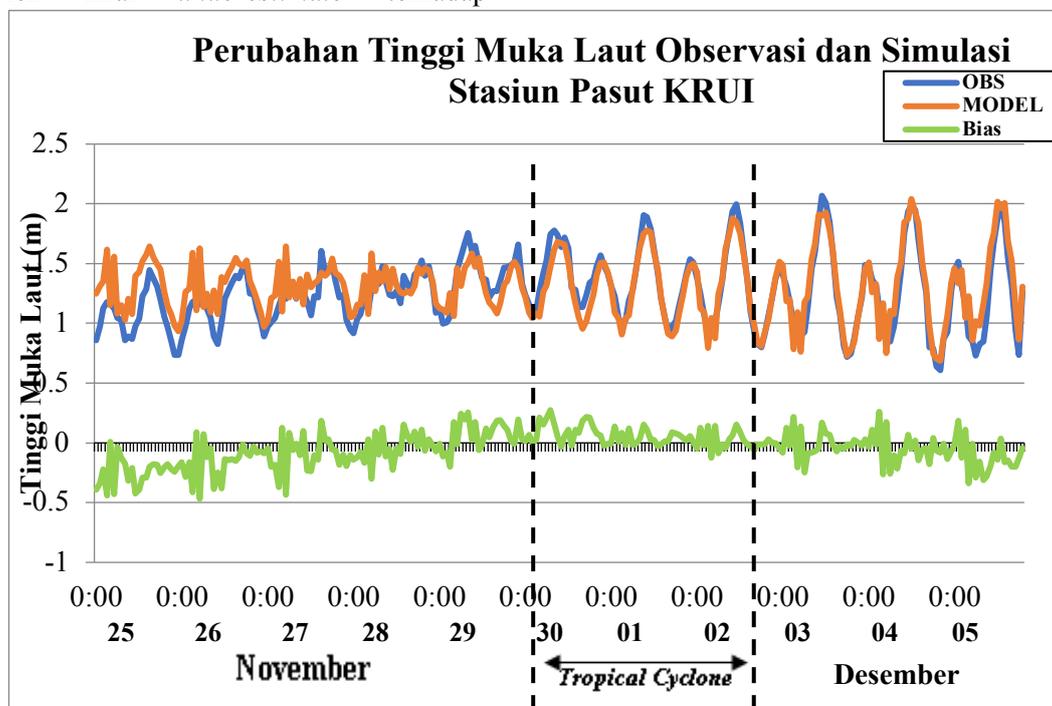
Berdasarkan gambar (3) diatas, diketahui hasil pemodelan melalui perhitungan astronomi pasang surut dan parameter meteorologi seperti angin permukaan dan tekanan udara di stasiun pasut Kota Agung. Pembentukan dan pergerakan lokasi pusat siklon tropis mempengaruhi perubahan komponen kecepatan angin secara signifikan diwilayah penelitian. Hal ini berpengaruh terhadap perubahan TML pada periode siklon. Dalam simulasi diperoleh keluaran tinggi muka

laut baik secara spasial maupun titik. Keluaran model di *setting* sedemikian rupa agar sesuai dengan titik observasi stasiun pasut Kota Agung dengan koordinat (5,5003 °LS - 104.619 °BT). Sehingga dapat dikomparasikan keluaran model terhadap observasi dalam bentuk grafik *time series* seperti diatas. Secara umum, pola yang terbentuk relatif sama dan dari kedua data tersebut tidak memiliki perbedaan nilai yang signifikan. Pada tanggal 25 November, nilai tertinggi simulasi *sea level* sebesar 1,78 m dan

nilai observasi sebesar 1,71 m. Kemudian, tanggal 26 November, nilai tertinggi simulasi *sea level* sebesar 1.72 m dan nilai observasi sebesar 1.72 m. Nilai tertinggi simulasi *sea level* tanggal 27 November, sebesar 1.62 m dan nilai observasi sebesar 1.65 m. Tanggal 28 November, nilai tertinggi simulasi *sea level* sebesar 1.50 m dan nilai observasi sebesar 1.66 m. Kemudian, tanggal 29 November, nilai tertinggi simulasi *sea level* sebesar 1.52 m dan nilai observasi sebesar 1.84 m. Lalu, pada tanggal 30 November, nilai tertinggi simulasi *sea level* sebesar 1.61 m dan nilai observasi sebesar 2.11 m. Nilai tertinggi simulasi *sea level* pada tanggal 01 Desember, sebesar 1.75 m dan nilai observasi sebesar 2.1 m. Pada tanggal 02 Desember, nilai tertinggi simulasi *sea level* sebesar 1.87 m dan nilai observasi sebesar 2.23 m. Selanjutnya, nilai tertinggi simulasi *sea level* pada tanggal 03 Desember, sebesar 1.95 m dan nilai observasi sebesar 2.28 m. Pada tanggal 04 Desember nilai tertinggi simulasi *sea level* sebesar 2.12 m dan nilai observasi sebesar 2.31 m. Lalu, pada tanggal 05 Desember, nilai tertinggi simulasi *sea level* sebesar 2.17 m dan nilai observasi sebesar 2.27 m.

Dari pola tersebut, secara umum diperoleh nilai *underestimate* terhadap

observasi dalam mensimulasikan perubahan tinggi muka laut pada periode sebelum, pada saat dan sesudah kejadian Siklon Tropis Dahlia. Selain itu, diketahui nilai *underestimate* atau bias terbesar terjadi pada saat kejadian siklon tanggal 30 November 2017 jam 09.00 UTC sebesar 0.56 m. Sedangkan pada periode lain simulasi model mampu merepresentasikan perubahan tinggi muka laut terhadap observasi dengan cukup baik. Hal ini dibuktikan dengan nilai koefisien korelasi kedua data tersebut sebesar 0.82, hal ini menunjukkan bahwa korelasi diantara kedua data baik atau kuat. Sedangkan nilai RMSE memiliki nilai 0.23 yang menunjukkan penyimpangan keluaran terhadap data observasi cukup kecil. Selain itu, bias atau error model pada saat fase matang siklon cenderung lebih besar daripada pada fase awal pembentukan dan tahap purnya dengan rata-rata nilai bias saat fase matang siklon sebesar 0.32 m. Sedangkan rata-rata bias model pada periode penelitian sebesar 0.13 m. Selain itu, bias simulasi model mencapai nilai maksimum sebesar 0.57 m yang terjadi pada saat matang siklon dan nilai minimum bias - 0.38 m.



Gambar 4. Grafik *Time Series* dari hasil pemodelan *Water Level Delft-3d* dan data Observasi

Berdasarkan gambar (4) diatas, secara umum, pola yang terbentuk relatif sama dan dari kedua data tersebut, tidak memiliki perbedaan nilai yang signifikan. Pada tanggal 25 November, nilai tertinggi simulasi *sea level* sebesar 1,65 m dan nilai observasi sebesar 1,45 m. Kemudian, tanggal 26 November, nilai tertinggi simulasi *sea level* sebesar 1.63 m dan nilai observasi sebesar 1.47 m. Nilai tertinggi simulasi *sea level* pada tanggal 27 November, sebesar 1.64 m dan nilai observasi sebesar 1.61 m. Tanggal 28 November, nilai tertinggi simulasi *sea level* sebesar 1.59 m dan nilai observasi sebesar 1.53 m. Kemudian, pada tanggal 29 November, nilai tertinggi simulasi *sea level* sebesar 1.58 m dan nilai observasi sebesar 1.76 m. Tanggal 30 November, nilai tertinggi simulasi *sea level* sebesar 1.68 m dan nilai observasi sebesar 1.78 m. Nilai tertinggi simulasi *sea level* pada tanggal 01 Desember, pada sebesar 1.78 m dan nilai observasi sebesar 1.91 m. Pada tanggal 02 Desember, nilai tertinggi simulasi *sea level* sebesar 1.88 meter dan nilai observasi sebesar 2.0 m. Selanjutnya, nilai tertinggi simulasi *sea level* tanggal 03 Desember, sebesar 1.93 m dan nilai observasi sebesar 2.07 m. Tanggal 04 Desember nilai tertinggi simulasi *sea level* sebesar 2.04 m dan nilai observasi sebesar 1.99 m. Tanggal 05 Desember, nilai tertinggi simulasi *sea level* sebesar 2.02 m dan nilai observasi sebesar 2.0 m.

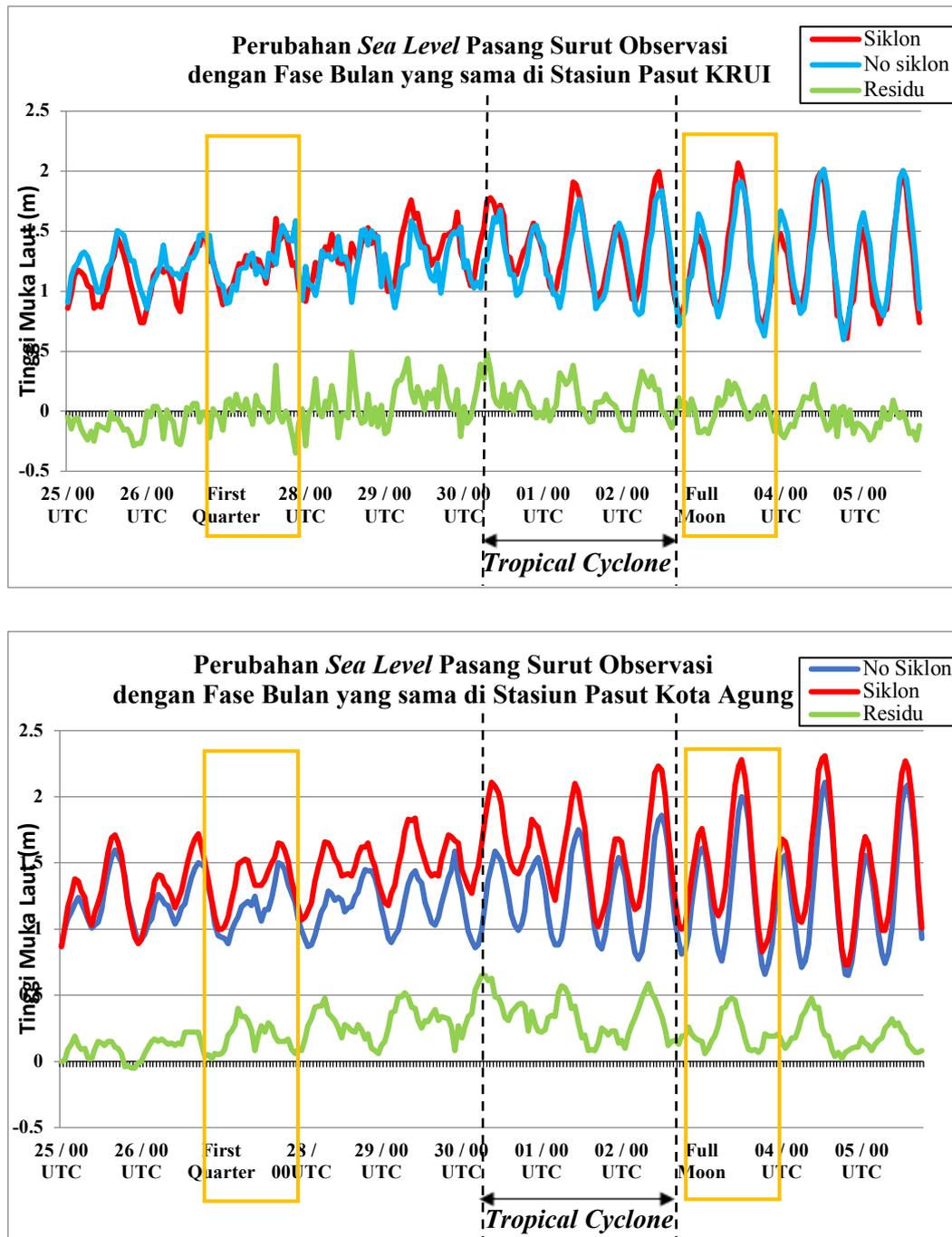
Dari pola tersebut, secara umum pada periode awal pembentukan siklon tropis tanggal 25 – 28 November 2017 diperoleh keluaran simulasi pemodelan yang menunjukkan nilai overestimate terhadap data observasi pasang surut Krui. Sedangkan pada saat memasuki fase siklon tropis simulasi model mulai menunjukkan nilai underestimate terhadap data observasi pasang surut. Nilai overestimate kembali ditunjukkan pada periode akhir siklon tropis tanggal 3-5 Desember 2017. Berdasarkan perhitungan diketahui nilai koefisien korelasi kedua data tersebut sebesar 0,87. Hal ini menunjukkan bahwa korelasi diantara kedua data baik atau kuat. Sedangkan nilai RMSE memiliki nilai 0.23 yang menunjukkan penyimpangan keluaran terhadap data observasi cukup kecil. Selain itu, bias atau error model pada saat fase matang siklon cenderung lebih kecil daripada pada fase awal pembentukan dan tahap purnah dengan rata-rata nilai bias pada fase matang siklon mencapai

0.0973 m. Sedangkan rata-rata bias pemodelan pada periode penelitian sebesar -0.04 m. Selain itu, bias simulasi model mencapai nilai maksimum 0.27 m dan minimum -0.47 m yang terjadi pada tanggal 26 November 2017.

Pemodelan pasang surut dilakukan pada saat terdapat fenomena badai dan fullmoon yang terjadi beriringan. Diketahui simulasi model mampu memperlihatkan kesesuaian pola dengan baik sesuai penelitian sebelumnya (Arizona, 2018; Rachmawati, 2018). Dimana berdasarkan grafik terlihat perairan barat Lampung memiliki pola campuran condong ke harian ganda (Pariwono, 1995) dimana terdapat dua puncak dan dua lembah yang terjadi dalam sehari. Selain itu akurasi model dalam mensimulasi tinggi muka laut memiliki nilai bias relatif kecil sesuai penelitian sebelumnya (Arizona, 2018; Rachmawati, 2018), dimana secara umum titik pengamatan stasiun pasut Krui yang merepresentasikan perairan terbuka memiliki nilai RMSE 0,36 dan titik pengamatan stasiun Kota Agung diwilayah teluk yang merepresentasikan perairan tertutup memiliki nilai RMSE 0,23. Diketahui besar nilai bias simulasi model di wilayah Krui yang berbatasan langsung dengan perairan samudera lebih besar daripada nilai bias simulasi model di wilayah Kota Agung yang berada dikawasan teluk semangka. Besar performa dan nilai bias pemodelan hidrodinamika Delft-3D dipengaruhi oleh kedalaman laut wilayah penelitian (Burrahman, 2019) dimana model memiliki performa yang lebih baik untuk wilayah dengan kedalaman laut atau batimetri yang dangkal. Menurut (Pariwono, 1999) kondisi oseanografi di Perairan Barat Lampung memiliki profil kedalaman yang relatif curam sedangkan profil batimetri teluk semangka memiliki kedalaman yang relatif dangkal. Selainitu arus pasut astronomis lebih mendominasi di perairan teluk (Budiwicaksono, 2013). Sehingga simulasi model hidrodinamika Delft-3d memiliki performa yang lebih baik di titik penelitian pesisir Kota Agung daripada Krui dengan nilai RMSE yang lebih kecil. Berdasarkan grafik diatas secara khusus dapat diketahui bahwa terdapat perbedaan besar nilai bias atau error di 2 titik lokasi penelitian saat memasuki fase matang siklon tropis Dahlia. Dimana rata – rata bias atau error simulasi model pada saat fase matang siklon tropis di stasiun pasut Krui 0.09

m lebih kecil daripada Kota Agung 0.32 m. Hal ini disebabkan adanya amplifikasi pasut di Perairan Teluk yang bersifat semi tertutup (Kusmanto, 2016). Teluk semi tertutup memiliki amplitudo pasang surut yang tinggi. Setelah air laut pasang memasuki perairan teluk, gelombang pasang progresif menjadi terkondisikan pada teluk yang berbentuk seperti celah sempit yang merambat dari mulut teluk ke garis pantai dan menginduksi energi pasang

surut untuk mempercepat arus. Percepatan ini terus berlanjut untuk jarak yang signifikan antara mulut teluk dan tepi pantai di ujung teluk yang menyebabkan amplifikasi pasang surut (Goodbred dan Yoshiki, 2012). Sehingga adanya mekanisme amplifikasi pasut oleh arus ekman di perairan teluk semangka Kota Agung dapat mengurangi performa model hidrodinamika dalam mensimulasikan tinggi mukalaut.



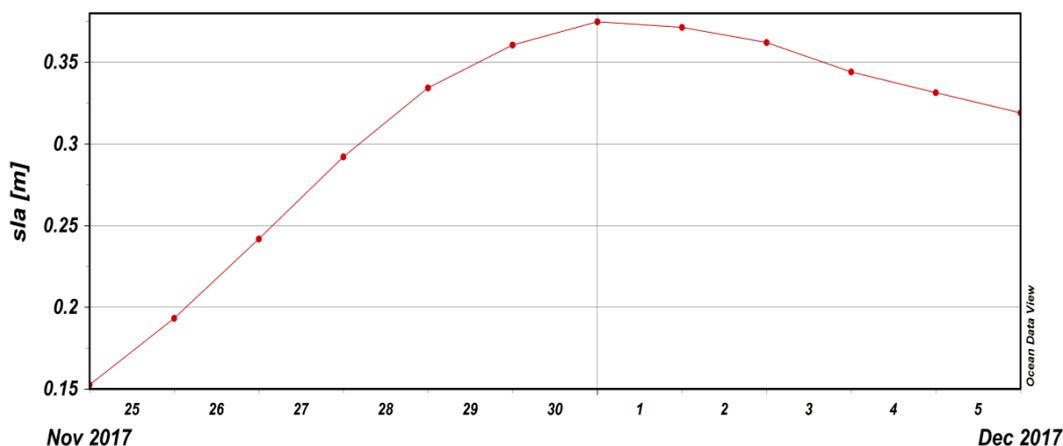
Gambar 5. Grafik *Time Series* dari data observasi Pasut Krui dan Kota Agung

Gambar (5) diatas merupakan grafik *time series* perubahan *sea level* lokasi titik observasi pasut Krui dan Kota Agung pada periode penelitian yang berbeda dan dengan fase bulan yang sama. Dimana *red line* merupakan pengukuran observasi pasut pada tanggal 27 Oktober - 06 November 2017, dengan asumsi tidak adanya pengaruh fenomena siklon tropis. *Blue line* merupakan pengukuran pasut pada tanggal 25 November - 05 Desember, dimana terdeteksi adanya fenomena siklon tropis Dahlia yang tumbuh dan berkembang diperairan Samudera Hindia. Sedangkan *green line* merupakan gelombang residu yang diperoleh dari selisih pengukuran pasut pada saat siklon tropis dan pasut tanpa adanya siklon tropis dengan fase bulan yang sama. Pada periode tersebut terdapat fase bulan *first quarter moon* dan *full moon* yang digunakan sebagai acuan pemilihan periode penelitian.

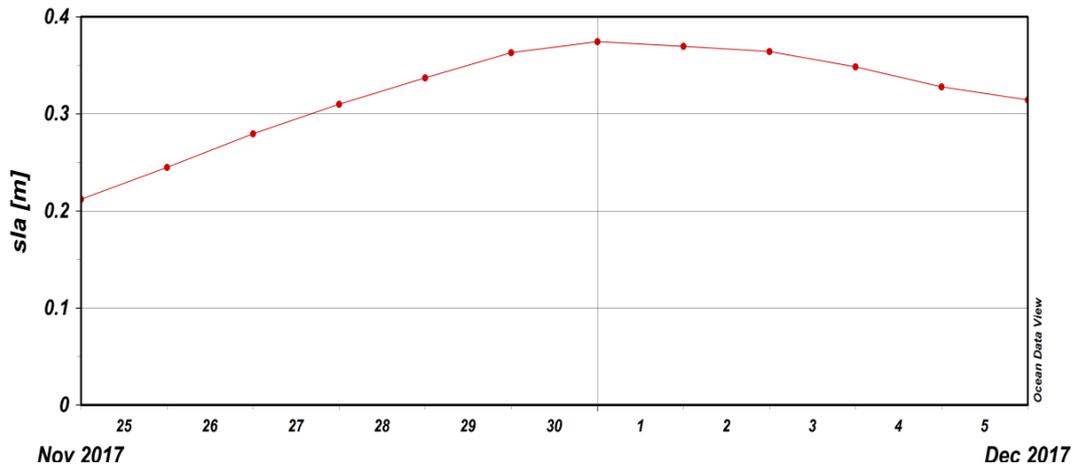
Selain itu terdapat informasi fase siklon tropis Dahlia yang memasuki *Tropical Depression* awal terjadi pada tanggal 28 – 29 November 2017. Fase *mature* siklon tropis pada tanggal 30 November – 02 Desember 2017, yang kemudian kembali memasuki fase *Tropical Depression* akhir pada waktu selanjutnya. Berdasarkan gambar diatas dapat diketahui secara umum baik *red line* maupun *blue line* menunjukkan peningkatan pengukuran observasi pasang maksimum dan surut minimum harian *sea level*. Peningkatan ketinggian pasut berbanding lurus dengan fase

bulan dimana *fullmoon* terjadi pada tanggal 3 November 2017 dengan pengaruh gravitasi paling besar. Ketinggian *sea level* yang terukur mencapai nilai maksimum pada saat *full moon* tanggal 3 November 2017 baik pada saat siklon (2,07 m) maupun tidak ada siklon (2,02 m) yang terjadi di Stasiun Pasut Krui. Sehingga diperoleh selisih ketinggian (residu pasut) pada saat *fullmoon* sebesar 0,05 m. Sedangkan Ketinggian *sea level* yang terukur mencapai nilai maksimum pada saat *full moon* tanggal 3 November 2017 baik pada saat siklon (1,48 m) maupun tidak ada siklon (1,25 m). Sehingga diperoleh selisih ketinggian (residu pasut) pada saat *fullmoon* sebesar 0,23 m Dimana MSL periode penelitian saat terdapat siklon mencapai 1,26 m untuk Stasiun Pasut Krui dan 1,46 m untuk Stasiun Pasut Kota Agung. Sedangkan nilai MSL saat tidak terdapat siklon mencapai 1,25 m untuk Stasiun Pasut Krui dan 1,23 m untuk Stasiun Pasut Kota Agung. Sehingga diketahui selisih MSL (residu pasut) di Krui tidak cukup signifikan (0,01 m) sedangkan nilai residu yang diperoleh cukup signifikan (0,23 m) untuk wilayah Kota Agung.

Namun selisih pengukuran observasi pasut MSL (residu pasut) diketahui mengalami peningkatan yang berbanding lurus dengan perubahan lokasi dan intensitas siklon tropis Dahlia. Diketahui MSL residu yang ditunjukkan *green line* mencapai rata-rata ketinggian maksimum 0,13 m di Krui dan 0,22 m di Kota Agung, pada saat memasuki fase *mature* siklon tropis Dahlia dengan jarak pusat siklon yang relatif dekat terhadap titik penelitian.



(a)



(b)

Gambar 6. Grafik *time series* nilai SLA pada periode penelitian di Stasiun Pasut (a) Kota Agung dan (b) Krui

Berdasarkan gambar (6) diatas diketahui perubahan SLA dari data satelit altimetri secara lebih jelas. Menurut Marpaung dan Harsanugraha (2014), *sea level anomaly* (SLA) merupakan besarnya penyimpangan yang terjadi terhadap kondisi rata-rata tinggi muka laut. Tinggi muka laut (*sea surface height*) adalah jarak antara permukaan laut dengan referensi elipsoid bumi. Berdasarkan data distribusi anomali dari satelit altimetri terlihat adanya fenomena SLA baik di perairan Kota Agung maupun perairan Krui. Berdasarkan teori ekman dan hasil yang diperoleh gambar distrubsi anomali dan *wind surface* diatas menunjukkan bahwa pada rentang periode penelitian terjadi proses *upwelling*.

Mekanisme *upwelling* sangat berkaitan dengan pembentukan angin musonal ( Marpaung dan Harsanugraha, 2014) maupun *wind setup* dari badai (Fadlan, 2014). Peningkatan intensitas dan pergerakan pusat siklon tropis mendekati perairan Lampung pada periode awal menyebabkan peningkatan kecepatan angin dan arah angin dominan sejajar bibir pantai menuju tenggara. Transpor ekman dibelokkan ke kiri dari arah angin menuju pesisir sehingga terjadi *upwelling* disepanjang pesisir barat Lampung. Sehingga nilai SLA mengalami peningkatan cukup signifikan mencapai 0,30 m dalam rentang waktu 25-30 November 2017. Sedangkan perairan Krui terlihat peningkatan SLA yang tidak cukup signifikan 0,17 m. Sehingga berdasarkan data satelit peningkatan SLA pada 2 titik lokasi penelitian cukup

berbeda, dimana pada perairan Teluk Semangka Kota Agung mengalami peningkatan SLA lebih besar daripada perairan yang terbuka di Krui. Nilai maksimum SLA terjadi pada tanggal 30 November 2017 baik di perairan Kota Agung sebesar (0,37 m) maupun perairan Krui (0,38 m). Mekanisme *upwelling* mengalami amplifikasi sehingga lebih kuat terjadi pada perairan teluk (Kusmanto, 2016) yang dipengaruhi oleh posisi geografis dan sirkulasi dari Samudera Hindia (Marpaung dan Harsanugraha, 2014). Kemudian SLA mengalami penurunan secara perlahan pada tanggal 1-5 Desember 2017.

## KESIMPULAN

Berdasarkan analisis dan pembahasan dari hasil penelitian, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Secara umum komponen angin horizontal (zonal dan meridional) di 2 titik stasiun pengamatan pasut mengalami peningkatan kecepatan *true wind* yang cukup signifikan pada periode Siklon Tropis Dahlia. Selain itu arah angin dominan senantiasa mengalami perubahan yang dipengaruhi lokasi pusat siklon tropis.
2. Performa model hidrodinamika Delft-3d dalam mensimulasikan *sea level anomaly* pada saat kejadian Siklon Tropis Dahlia

memiliki nilai RMSE kecil yaitu 0,36 di Stasiun Pasut Krui dan 0,23 di Stasiun Pasut Kota Agung. Sedangkan nilai koefisien korelasi yang diperoleh sebesar 0,87 di Stasiun Pasut Krui dan 0,82 di Stasiun Pasut Kota Agung. Hal ini menunjukkan bahwa model tersebut mampu mensimulasikan perubahan *sea level* dengan baik.

3. Pengaruh siklon tropis terhadap perubahan *sea level* pada perairan semi tertutup di Kota Agung lebih dominan dari pada perairan terbuka di Krui.

## DAFTAR PUSTAKA

- Aldrian, E., 2008, Meteorologi Laut Indonesia, Badan Meteorologi dan Geofisika, Jakarta.
- Budiwicaksono, R.A., Subardjo, P., Novico, F., Pemodelan Pola Arus pada Tiga Kondisi Musim Berbeda Sebagai Jalur Pelayaran Perairan Teluk Lampung menggunakan Software Delft3D, Jurnal Oseanografi Vol. 2, Universitas Diponegoro, Semarang.
- Dvorak, V.F., 1984. Tropical Cyclone Intensity Analysis using Satellite Data, NOAA Tech. Rep. NESDIS 11, 47.
- Fadlan, A., 2014, Kajian Transport Ekman Pada Saat Siklon Tropis Anggrek, Sekolah Tinggi Meteorologi Klimatologi dan Geofisika Jakarta.
- Firdianto, P.U., Alhabib, A.H., Pancariniwati, S., Nugraheni, I.R., 2018, Pengaruh Fenomena Siklon Tropis Cempaka Terhadap Anomali Tinggi Muka Air Laut di Selatan Pulau Jawa, Seminar Nasional Penginderaan Jauh, Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional.
- Gregory, J., 2013, Projection of Sea Level Rise, IPCC AR5
- Krismiarto, 2015. Analisis Pertumbuhan, Pergerakan, dan Intensitas Siklon Tropis Marcia Berbasis Data Satelit MTSAT. Jurnal Berita Dirgantara. 10:37-45.
- Kusmanto, E., Hasanudin, M., Setyawan, W.B., 2016, Amplifikasi Pasang Surut dan Dampaknya terhadap Perairan Pesisir Probolinggo, Oseanologi dan Limnologi di Indonesia 2016.
- Marpaung, S., dan Harsanugraha, W.K., 2014, Karakteristik Sebaran Anomali Tinggi Muka Laut di Perairan Bagian Selatan dan Utara Pulau Jawa, Seminar Nasional Penginderaan Jauh, Prosding Sinasindraja, LAPAN, 569-575.
- Martono, 2009, Karakteristik dan Variabilitas Bulanan Angin Permukaan di Perairan Samudera Hindia, MAKARA SAINS Vol.13, LAPAN.
- Pariwono, J.I., 1999, Kondisi Oseanografi Perairan Pesisir Lampung, BAPENAS.
- Sofian, I., 2012, Simulasi Storm Surge di Selat Bangka menggunakan Coupled ADCIRC dan SWAN Model, Globe Vol.14, Jakarta.
- Supangat, A., dan Susanna., 2003, Pengantar Oseanografi, Pusat Riset wilayah Laut dan Sumberdaya Non-Hayati, BRPKP-DKP.
- Suyarso, O., 1989, Pasang Surut. LIPI. Pusat Penelitian dan Pengembangan Oseanologi. Jakarta.
- Triatmodjo, B., 1999, Teknik Pantai. Universitas Gajah Mada. Yogyakarta.