

IDENTIFIKASI WAVEFORM DATA SATELIT ALTIMETER PADA PERAIRAN PESISIR DAN LAUT DALAM DI PERAIRAN SELATAN JAWA

WAVEFORM IDENTIFICATION OF ALTIMETRY SATELLITE DATA OF SHALLOW AND DEEP WATERS IN SOUTHERN JAVA WATERS

Bisman Nababan^{1*}, Romdonul Hakim², Danu Adrian³, dan Jonson L. Gaol¹

¹Departemen Ilmu dan Teknologi Kelautan, FPIK-IPB, Bogor

²Program Studi Teknologi Kelautan, Fakultas Pasca Sarjana, IPB, Bogor

³PT. Bank Mega Tbk, Jakarta; *Email: bisman@ipb.ac.id

ABSTRACT

Waveform patterns of satellite altimetry affect the accuracy of sea surface height estimation from the satellite. The waveform patterns found in the coastal waters are generally not in the ideal form (Brown-waveform), resulting inaccurate in sea surface height estimation. The objectives of this research were to identify patterns of the waveform and determine their variability. Satellite altimetry Jason-2 SGDR (Sensor Geophysical Data Record) type D data located in the southern Java island waters of the year of 2013 were used and downloaded from "NOAA's Comprehensive Large Array-data Stewardship System" (www.class.ncdc.noaa.gov). Waveform identification and analyses were conducted along the satellite pass within the distance of 0-10 km, 10-50 km, and 50-100 km from the coastline. Results showed that the highest number of non-Brown-waveform was found within 0-10 km of the coastline (69%). Meanwhile, within the distance of 10-50 km and 50-100 km from the coastline, the number of non-Brown waveform was 5% and 3%, respectively. Brown waveform patterns could be found generally starting at 7.58 km from the coastline. Factors such as land near coastal waters, the depth and shape of the surface waters, aerosols in the atmosphere, building (example: lighthouse or ship) found in coastal areas suspected to be the cause of the noise in waveforms.

Keywords: *Borwn and non-Brown waveform, sea level height, altimetry satellite, identification*

ABSTRAK

Pola *waveform* data satelit altimeter mempengaruhi tingkat akurasi hasil estimasi ketinggian paras laut dari satelit altimeter. Pola *waveform* yang ditemui di perairan pesisir umumnya tidak mengikuti pola *waveform* yang ideal (*Brown-waveform*) sehingga menghasilkan estimasi ketinggian paras laut yang tidak akurat. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi pola *waveform* dari satelit altimeter dan menentukan variabilitasnya. Data yang digunakan adalah data satelit altimeter Jason-2 SGDR (*Sensor Geophysical Data Record*) tipe D pada perairan selatan pulau Jawa selama tahun 2013 yang diperoleh dari situs jaringan data "NOAA's *Comprehensive Large Array-data Stewardship System*" (www.class.ncdc.noaa.gov). Identifikasi *waveform* dilakukan sepanjang lintasan Satelit Altimetry Jason-2 yang dibagi menjadi tiga kategori jarak yaitu, 0 – 10 km (wilayah pesisir), 10 - 50 km (transisi wilayah pesisir-laut lepas), dan 50 – 100 km (laut lepas atau laut dalam). Hasil penelitian menunjukkan, secara umum, ditemukan empat bentuk *non-Brown-waveform* pada daerah study. Jumlah *non-Brown-waveform* terbanyak (69%) ditemui pada daerah pesisir pada jarak 0-10 km dari garis pantai. Sedangkan pada jarak 10-50 km (wilayah transisi pesisir-laut lepas) dan 50-100 km (laut lepas) dari garis pantai, jumlah *non-Brown-waveform* masing-masing 5% dan 3%. Pola *Brown-waveform* umumnya sudah dapat ditemui mulai pada jarak 7,58 km dari garis pantai, namun di laut lepas terkadang masih ditemui *non-Brown-waveform*. Faktor daratan dekat perairan pesisir, kedalaman dan bentuk permukaan perairan, aerosol di atmosfer, bangunan (contoh: mercusuar atau kapal) yang ditemui di daerah pesisir diduga menjadi penyebab *noise* pada *waveforms*.

Kata kunci: *Brown and non-Brown waveform, paras laut, satelit altimeter, identifikasi*

I. PENDAHULUAN

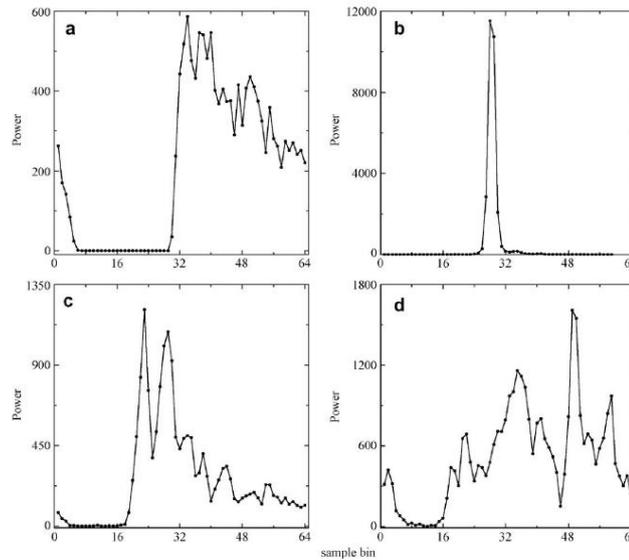
Satelit gelombang mikro (*microwave*) altimeter yang pertama kali diluncurkan pada tahun 1991 dinamai *European Remote Sensing* satu (ERS-1) dimana salah satu sensor yang dimiliki adalah sensor *microwave* aktif (radar altimeter) yang mengarah ke bumi (*nadir-pointing active microwave sensor*) dengan menggunakan frekuensi 13,8 GHz (Ku-band). Satelit radar altimeter ini didesain untuk mengukur waktu pengembalian gelombang mikro dari permukaan laut dan es sebagai dasar perhitungan ketinggian paras laut (Chelton *et al.*, 2001). Seri berikutnya dari satelit altimeter ini adalah ERS-2, TOPEX/POSEIDON, Geosat, Envisat, Jason-1, OSTM/Jason-2, dan CryoSat yang dirancang dan dikembangkan untuk mengukur topografi (naik/turun) permukaan laut secara global dan berulang. Satelit *microwave* altimeter ini telah sukses digunakan sebagai alat pemantau proses global untuk dinamika paras laut, laju kenaikan paras laut global, perubahan tutupan es di kutub utara dan selatan, sirkulasi air laut global, dan meningkatkan pengetahuan dan pemahaman tentang peran laut dalam perubahan iklim global. Satelit altimeter juga telah terbukti sangat sukses untuk observasi pada laut dalam (*offshore*), domain yang pada awalnya dirancang (Wunsch, 2006; Evans *et al.*, 2005; Leben and Powel, 2003; Leben *et al.*, 2002; Carton and Chao, 1999; Legresy and Remy, 1997, Davis, 1996; Leben and Born, 1993; Martin *et al.*, 1983; Nababan *et al.*, 2012). Untuk laut dalam (*offshore*), satelit *microwave* altimeter modern dapat mengukur paras laut pada tingkat akurasi sekitar 4,1 cm (Yang *et al.*, 2008).

Dalam pengukuran tinggi paras laut dari satelit altimeter, langkah awal yang dilakukan adalah mengidentifikasi bentuk atau pola *waveform* dari data

satelit altimeter itu sendiri. *Waveform* adalah sebuah kurva berbentuk gelombang yang merupakan perubahan besarnya kekuatan sinyal gelombang mikro pada frekuensi tertentu yang dipantulkan oleh permukaan laut dan diterima kembali oleh satelit altimeter dalam waktu singkat (nanodetik) (Chelton *et al.*, 1989; Quartly *et al.*, 2001; Gommenginger *et al.*, 2011). Dari data atau informasi *waveform* dapat diperoleh nilai estimasi jarak antara satelit altimeter dengan permukaan laut pada titik nadir yang umumnya dikenal sebagai paras laut (Deng, 2003).

Hasil penelitian menunjukkan bahwa bilamana bentuk *waveform* data satelit altimeter mengikuti pola *Brown-waveform* (Gambar 1a), maka estimasi ketinggian paras laut yang dihasilkannya sangat akurat sampai pada tingkat ketelitian 4,1 cm (Yang *et al.*, 2008). Sebaliknya, bilamana bentuk *waveform* itu tidak mengikuti pola *Brown-waveform*, maka hasil estimasi tinggi paras laut dari data ini menjadi kurang akurat. Pola *waveform* yang ditemui di daerah laut lepas atau laut dalam (*offshore*) atau laut dengan kedalaman ≥ 1000 m, secara umum, mengikuti pola *Brown-waveform* yang merupakan *waveform* ideal (Gambar 1a). Semakin mendekati wilayah pesisir atau daratan, umumnya pola *waveform* yang terbentuk cenderung tidak mengikuti pola *Brown-waveform* dan semakin kompleks (Gambar 1b, 1c, dan 1d) yang mungkin disebabkan oleh gangguan dari daratan atau permukaan topografi yang kompleks dan kedalaman perairan terhadap gelombang mikro yang dipantulkan kembali ke satelit (Bao *et al.*, 2008).

Lokasi daratan yang dekat dengan laut pada wilayah pesisir mengakibatkan kesulitan melakukan beberapa koreksi geofisika secara akurat seperti koreksi troposfer basah, koreksi pasut, dan koreksi atmosfer (Deng *et al.*, 2002; Brooks *et al.*, 1998; Hancock and Lockwood, 1990).



Gambar 1. Bentuk *waveform* pada berbagai jenis permukaan. (a) *Ocean-waveform*; (b) *Ice waveform*; (c) *Multi-peak waveform*; (d) *Complex waveform* (Bao *et al.*, 2008).

Efek daratan dapat menginduksi banyak puncak tambahan dalam bentuk signal gelombang (*waveform*) altimeter yang terdistorsi dari model teoritis Brown sebagai signal gelombang permukaan (radius ~ 7 km pada sampling 1Hz) saat mendekati atau meninggalkan garis pantai (Yang *et al.*, 2008). Signal gelombang ekstrem ini perlu diedit dan dianalisa untuk menghindari kesalahan dalam penentuan batas signal yang sesuai dan sambil menerapkan nilai ambang batas pintu jejak (*retracked gate*). Oleh karena itu, penelitian terhadap identifikasi *waveform* dan analisis *retracking* terhadap *non-Brown-waveform* perlu dilakukan untuk menghasilkan nilai pengukuran yang lebih baik. Estimasi paras laut di wilayah pesisir dapat ditingkatkan dengan melakukan proses ulang pada *waveform* (*waveform retracking*) dengan menggunakan algoritma yang telah dikembangkan beberapa peneliti (Davis, 1997; Anzenhorfer *et al.*, 1999; Deng and Featherstone, 2006; Hwang *et al.*, 2006; Bao *et al.*, 2009; Yang *et al.*, 2008).

Penelitian terkait satelit altimeter untuk wilayah pesisir telah banyak dilaku-

kan dengan hasil yang bervariasi dan menjanjikan untuk peningkatan akurasi hasil estimasi ketinggian paras laut seperti Deng *et al.* (2002) meneliti perilaku ERS-2 dan POSEIDON altimeter gelombang data di daerah pesisir hingga 22 km dari pantai Australia dimana rentang gelombang data altimeter ini kurang bagus saat diestimasi menggunakan perangkat lunak pelacak (*retracking*) dalam satelit. Hancock dan Lockwood (1990) melaporkan bahwa efek dari sebuah pulau terhadap nilai gelombang data dan parameter geofisika lokal dapat mempengaruhi nilai paras muka laut lebih dari 4 m. Brooks *et al.* (1998) menganalisis pantulan data gelombang TOPEX dari laut ke darat dan dari darat ke laut. Mereka menunjukkan bahwa hasil pelacakan (*retracking*) gelombang data altimeter dapat digunakan untuk estimasi paras laut sampai beberapa kilometer ke arah pantai. Khusus untuk perairan Indonesia, penelitian dan informasi terkait *waveform* analisis data satelit altimeter masih sangat terbatas. Adrian (2013) telah memulai menganalisa bentuk atau pola *waveform* pada beberapa lintasan satelit altimeter Jason-2 di

perairan selatan Jawa Tengah dan Barat. Keterbatasan informasi terkait *waveform* analisis satelit altimeter di perairan Indonesia dan mengingat perairan Indonesia yang banyak dikelilingi oleh pulau-pulau maka penelitian terkait identifikasi *waveform* satelit altimeter menjadi sangat penting dilakukan. Dengan tersedianya informasi yang lebih lengkap terkait analisis *waveform* data satelit altimeter di perairan Indonesia, diharapkan informasi ini dapat digunakan untuk mengestimasi ketinggian paras laut di Indonesia serta meningkatkan hasil estimasi tersebut. Penelitian ini bertujuan untuk melakukan identifikasi dan menentukan variabilitas pola *waveform* satelit altimeter pada daerah pesisir dan laut lepas di perairan selatan Jawa.

II. METODE PENELITIAN

2.1. Lokasi dan Data Penelitian

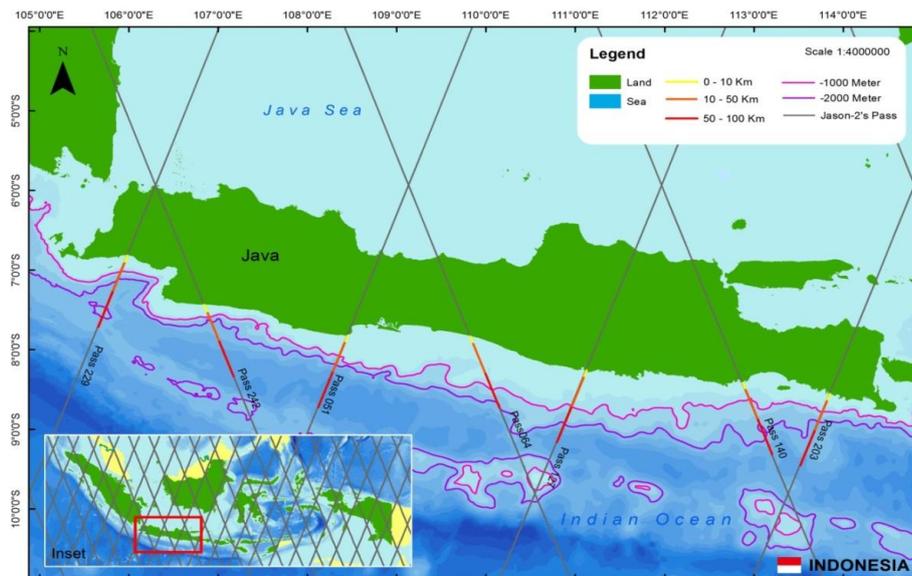
Lokasi penelitian adalah perairan pesisir dan laut lepas di Lautan Hindia bagian selatan pulau Jawa (Gambar 2). Identifikasi *waveform* dilakukan sepanjang lintasan Satelit Jason-2 yang dibagi menjadi tiga kategori jarak yaitu, 0-10 km

(wilayah pesisir), 10-50 km (transisi wilayah pesisir-laut lepas), dan 50-100 km (laut lepas atau laut dalam) dari pantai. Pembatasan kategori jarak dari garis pantai ini dilakukan untuk memudahkan proses identifikasi *waveform* dari jenis perairannya. Semua lintasan dan seluruh siklus (*cycle 18-54*) satelit altimeter dilakukan pengamatan seperti lintasan nomor 229, 051, 064, 127, 140, dan 203 kecuali lintasan nomor 242 yang tidak menghasilkan data yang valid sehingga tidak dimasukkan dalam analisis data, Gambar 2).

Data yang digunakan adalah data satelit altimetri Jason-2 SGDR (*Sensor Geophysical Data Record*) tipe D selama tahun 2013 yang diperoleh dari situs jaringan data “NOAA's *Comprehensive Large Array-data Stewardship System*” (www.class.ncdc.noaa.gov).

2.2. Identifikasi *Waveform*

Data SGDR-D datelit altimeter dibaca dan diedit dengan menggunakan *software* MATLAB yang dikembangkan. Sinyal gelombang mikro (*microwave*), kemudian diplotkan dalam bentuk dua dan tiga dimensi untuk dilakukan identifikasi terhadap grafik *waveform* yang dihasilkan.



Gambar 2. Peta lokasi penelitian di perairan selatan pulau Jawa.

Variabilitas dari waveform yang diidentifikasi dihitung dengan membandingkan pola *waveform* yang ada terhadap pola *Brown-waveform*.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Identifikasi Waveforms

Waveform secara umum didefinisikan sebagai sebuah representasi grafis dalam bentuk gelombang dari suatu sinyal sebagai plot amplitudo terhadap waktu. *Waveform* dari satelit altimeter dapat memberikan informasi tentang jarak antara satelit altimeter dengan permukaan bumi pada posisi nadir dari waktu yang dibutuhkan oleh sinyal pada saat ditransmisikan hingga diterima kembali setelah pemantulan oleh permukaan laut oleh satelit (Lee *et al.*, 2010). Lintasan (pass) yang digunakan pada penelitian ini antara lain 051, 064, 127, 140, 203, dan 229. Lintasan 051, 127, dan 203 merupakan lintasan berjenis *ascending*, yaitu lintasan dengan arah pengamatan yang dimulai dari bumi bagian selatan menuju ke utara. Sedangkan lintasan 064, 140, dan 229 merupakan lintasan berjenis *descending*, yaitu lintasan dengan arah pengamatan yang dimulai dari bumi bagian utara menuju ke selatan.

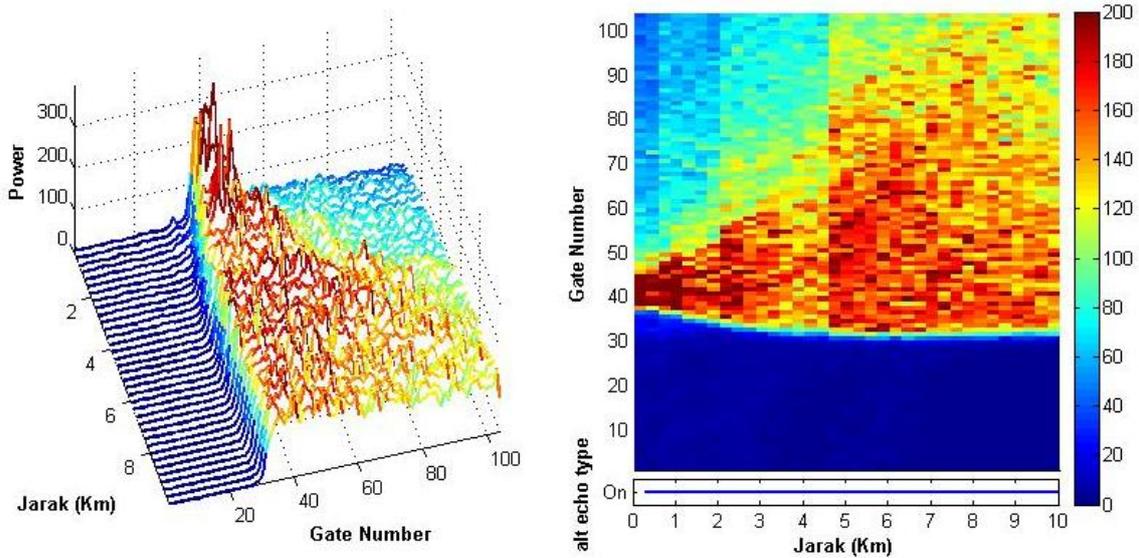
Dalam penelitian ini bentuk *waveform* yang diidentifikasi dikelompokkan berdasarkan jarak dari garis pantai ke arah laut lepas sesuai dengan lintasan satelit altimeter yaitu 0-10 km, 10-50 km, dan 50-100 km. Pengelompokan ini didasarkan atas hasil identifikasi awal (Adrian, 2013) terhadap bentuk *waveform* yang ada dimana bentuk *waveform* yang hampir tidak seragam dan bukan berupa *Brown-waveform* mayoritas berada pada pengelompokan jarak 0-10 km serta memiliki bentuk *waveform* yang sangat kompleks. Pada jarak 10-50 km dari garis pantai memiliki bentuk *waveform* yang lebih stabil menuju bentuk *Brown-waveform*, dan pada jarak 50-100 km merupakan

bentuk *waveform* yang dominan stabil atau dalam bentuk *Brown-waveform*.

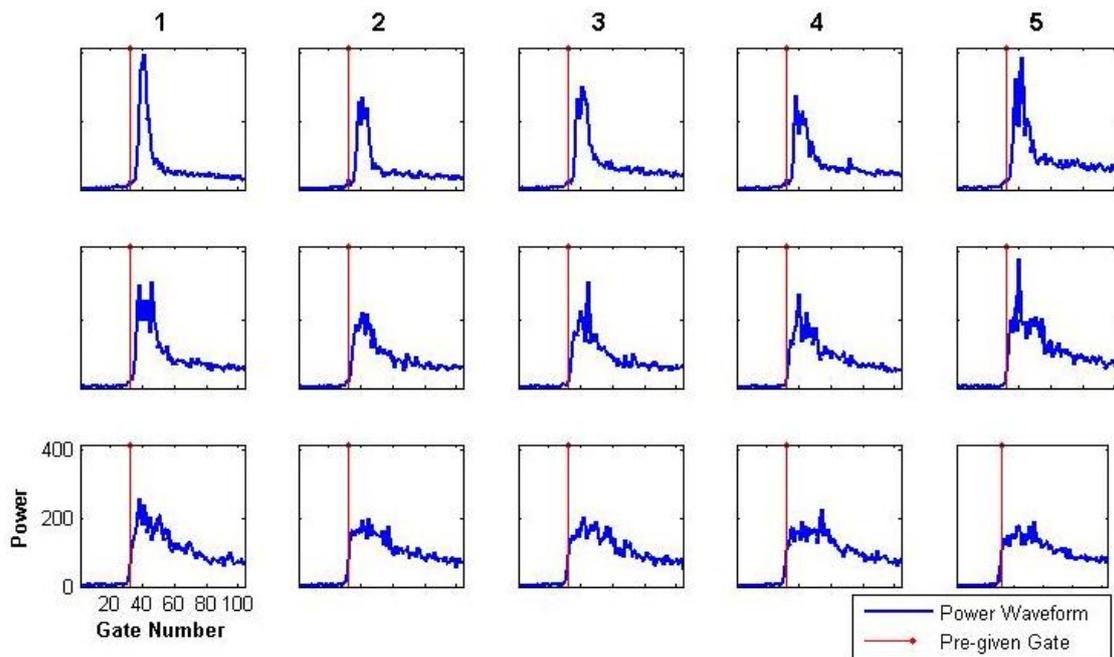
3.1.1. Jarak 0-10 km dari Garis Pantai

Pada kategori jarak 0-10 km dari garis pantai umumnya memiliki pola *waveform* yang sangat kompleks dan tidak beraturan. Pola *waveform* yang sangat kompleks dan tidak beraturan ini hampir ditemui pada setiap lintasan dan setiap cycle khususnya yang paling dekat dengan garis pantai. Semakin jauh dari garis pantai, umumnya pola *waveform* menjadi lebih teratur dan semakin mendekati pola *Brown waveform*.

Pola *waveform* yang sangat kompleks dan tidak mengikuti pola *Brown waveform* pada jarak 0-10 km dari garis pantai mungkin disebabkan adanya gangguan sinyal yang terekam oleh satelit akibat pantulan dari daratan, dasar perairan yang dangkal, maupun karena adanya bangunan di laut seperti mercusuar atau bangunan di daerah pesisir, atau hal lainnya. Bentuk runcing (*peaky*) dan langsung menurun setelah “*given gate number*” dapat ditemui pada daerah paling dekat dengan garis pantai seperti terlihat pada grafik *waveform* tiga dimensi (Gambar 3) dan dua dimensi (Gambar 4) dari satelit altimeter Jason-2 tahun 2013 pada lintasan 051 periode 172. Meruncingnya bentuk *waveform* di awal grafik menandakan bahwa *waveform* tersebut mengalami gangguan yang mungkin berasal dari sinyal pantulan dari daratan. Pada Gambar 3b terlihat bahwa *waveform* yang ada di sepanjang lintasan ditandai dengan salah satu kriteria edit *waveform* yaitu “*alt_echo_type*” aktif (*on*) yang menandakan bahwa pada wilayah tersebut *waveform* tidak menunjukkan bentuk *Brown-waveform*. Hal ini mengakibatkan, algoritma *ocean retracking model* pada lintasan tersebut pada jarak 0-10 km tidak dapat melakukan estimasi tinggi paras laut secara langsung namun perlu dilakukan analisis *retracking* terlebih dahulu.



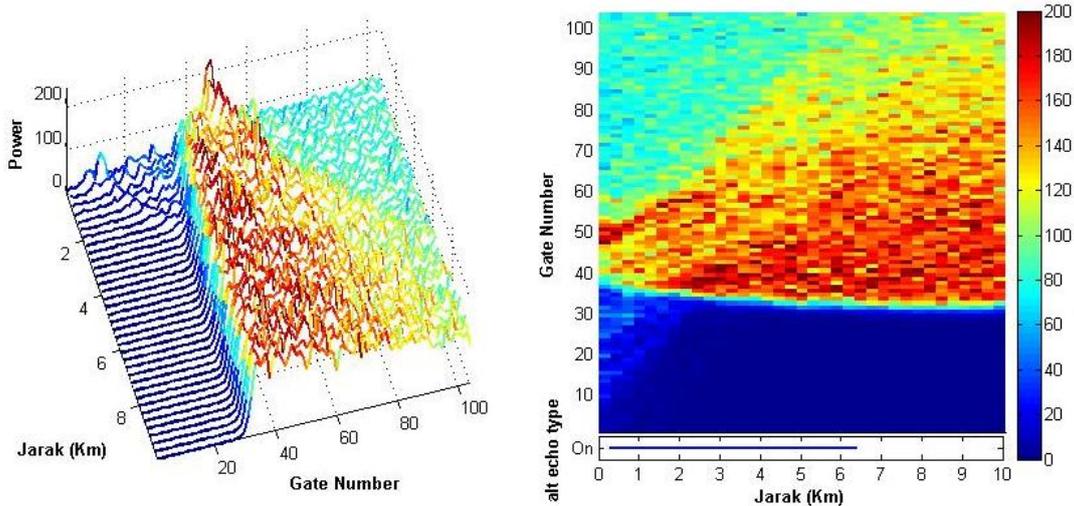
Gambar 3. Bentuk *waveform* dalam tiga dimensi pada lintasan 051 periode 172 pada jarak 0-10 km dari garis pantai: (a) tampak samping dan (b) tampak atas.



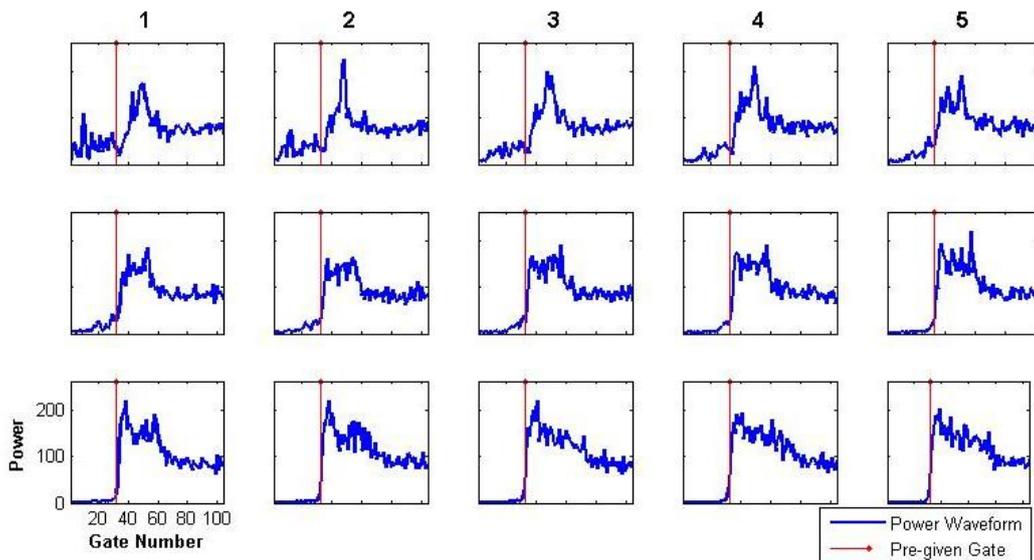
Gambar 4. Bentuk dua dimensi lima belas *waveform* pertama pada lintasan 051 periode 172 pada jarak 0-10 km dari garis pantai.

Bentuk atau pola lain dari *waveform* di daerah pesisir adalah bentuk noise sebelum “*pre-given gate number*” dan gelombang maksimum pada bagian tengah *waveform* setelah “*pre given gate number*” seperti terlihat pada grafik tiga dimensi (Gambar 5) dan dua dimensi

(Gambar 6) pada lintasan 203 periode 187 satelit Altimeter Jason-2 tahun 2013. Pada Gambar tersebut terlihat *waveform* yang sangat kompleks pada daerah paling dekat dengan garis pantai dimana bentuk *waveform* yang noisy pada awal “*pre-given gate number*” dan setelah “*pre-*



Gambar 5. Pola *waveform* dalam tiga dimensi satelit altimeter Jason-2 tahun 2013 lintasan 203 periode 187 pada jarak 0-10 km dari pantai: (a) tampak samping dan (b) tampak atas.



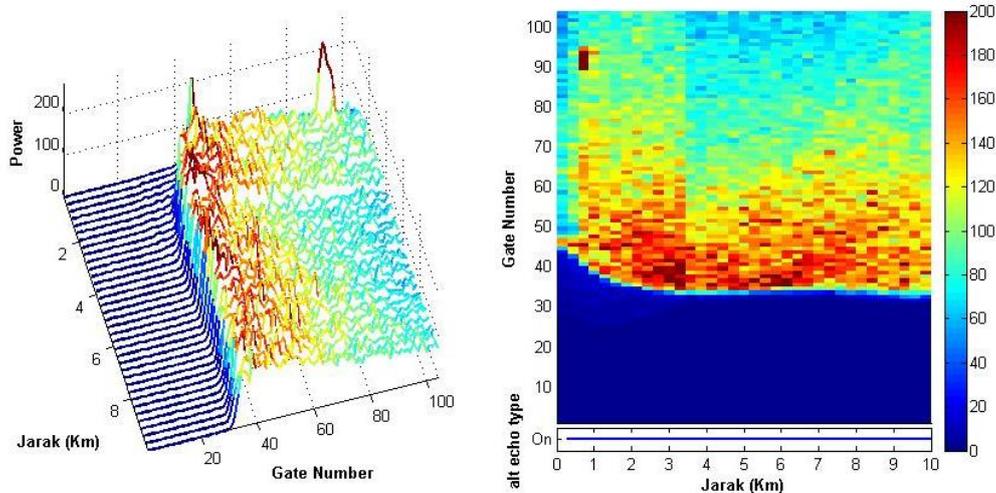
Gambar 6. Pola dua dimensi lima belas *waveform* pertama satelit altimeter Jason-2 tahun 2013 pada lintasan 203 periode 187 pada jarak 0-10 km dari pantai.

given gate number". Pola ini berbeda dengan pola yang ditemui sebelumnya pada lintasan 051 periode 173 yang mungkin juga disebabkan oleh gangguan dari pantulan daratan dan berangsur-angsur melandai ketika menjauh dari daratan. Meskipun masih banyak ditandai dengan kriteria edit "*alt_echo_type*" aktif (*on*) sampai jarak 0-6,3 km dari garis pantai, namun sebagian *waveform* ini sudah mengikuti pola *Brown-waveform*

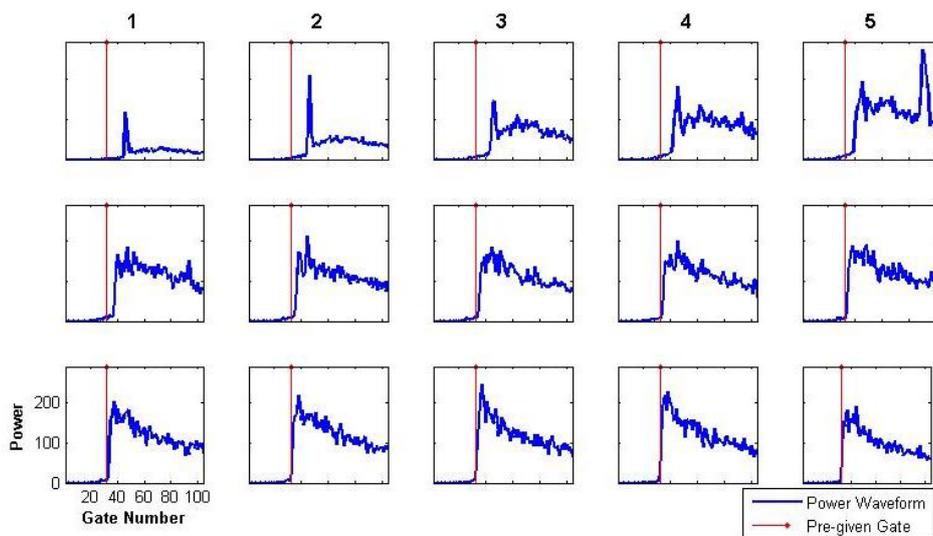
yang ditemui setelah 6,3 km dari garis pantai (Gambar 5b). Garis merah vertikal pada gambar dua dimensi *waveform* tersebut merupakan *pre-given gate* dari *on-board tracker* pada satelit jason-2 dengan nilai 32 berdasarkan gerbang pengamatan (*gate*) yang dimulai dari 1-104 (Gommenginger *et al.*, 2011 dan Lee *et al.*, 2010). Bilamana garis merah vertikal ini tepat berada pada garis tengah *leading edge point* (LEP) (2 grafik paling

ujung bawah pada Gambar 6) maka *waveform* tersebut diidentifikasi sebagai Brown waveform dan telah teruji akan menghasilkan estimasi tinggi paras laut yang sangat akurat sampai ke tingkat resolusi sentimeter (cm). Bilamana garis merah vertikal tidak tepat berada pada titik tengah dari LEP disertai dengan bentuk *waveform* yang tidak teratur maka hasil estimasi tinggi paras laut dengan menggunakan *ocean retracking* model tidak akan akurat.

Pada lintasan 064 periode 196 pada jarak 0-10 km dari garis pantai juga menunjukkan hasil yang umumnya tidak berbentuk *Brown-waveform* (Gambar 7 dan 8). Pada hasil ini terlihat pola *waveform* yang berbeda dari hasil *waveform* lintasan 051 dan 203 khususnya *waveform* yang dekat dengan garis pantai dimana pola *waveform* yang membentuk nilai maksimum yang jauh dari “*pre-given gate number*” dan pada akhir *gate number* (Gambar8).



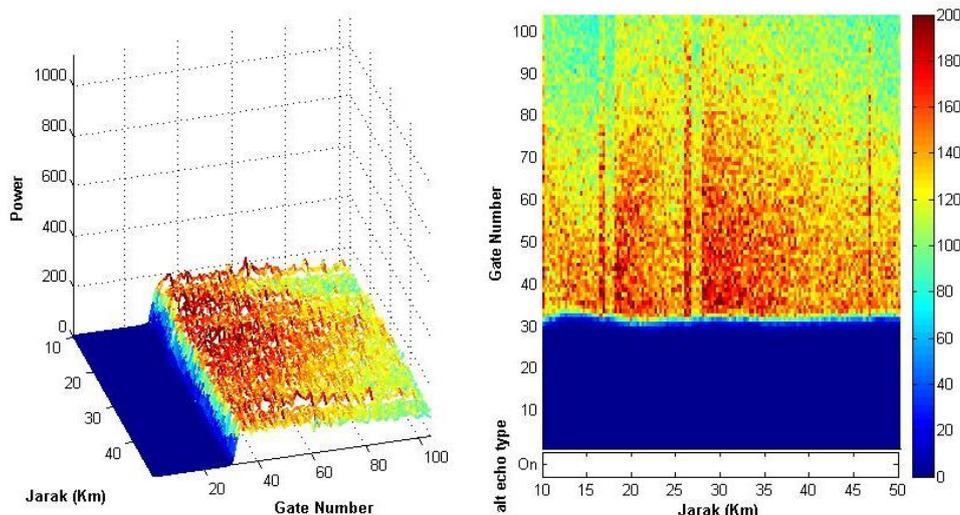
Gambar 7. Pola *waveform* dalam tiga dimensi satelit altimeter Jason-2 tahun 2013 pada lintasan 064 periode 196 pada jarak 0 – 10 km dari pantai: (a) tampak samping dan (b) tampak atas.



Gambar 8. Bentuk dua dimensi lima belas *waveform* pertama satelit altimeter pada lintasan 064 periode 196 pada jarak 0-10 km dari pantai.

3.1.2. Jarak 10-50 km dari Garis Pantai

Hasil identifikasi terhadap pola *waveform* satelit altimeter Jason-2 tahun 2013 pada lintasan 051, 064, 140, 127, dan 203 dalam kategori jarak 10-50 km dari garis pantai secara umum menghasilkan bentuk *waveform* yang ideal (*Brown-waveform*). Namun, pada beberapa periode di tiap lintasan, terkadang *waveform* yang terbentuk masih mengalami *noise*. Meskipun sudah jauh dari daratan, *noise* pada *waveform* masih dapat disebabkan oleh beberapa hal lainnya. Beberapa hal yang mempengaruhi bentuk *waveform* antara lain, kedalaman dan bentuk permukaan perairan, kondisi lingkungan pesisir, aerosol di atmosfer, bangunan (contoh: mercusuar atau kapal), dan lainnya (Deng dan Featherstone, 2006). Pada Gambar 9 ditunjukkan contoh bentuk tiga dimensi *waveform* yang diperoleh dari lintasan 127 periode 178 pada jarak 10-50 km dari garis pantai dimana seluruh *waveform* dapat bersifat *Brown-waveform*. Hal ini terlihat pada Gambar 9b dimana *waveform* yang terbentuk sudah membentuk *Brown-waveform* atau *waveform* yang ideal dan tidak ditandai dengan kriteria edit “*alt_echo_type*” aktif (*on*). Pada

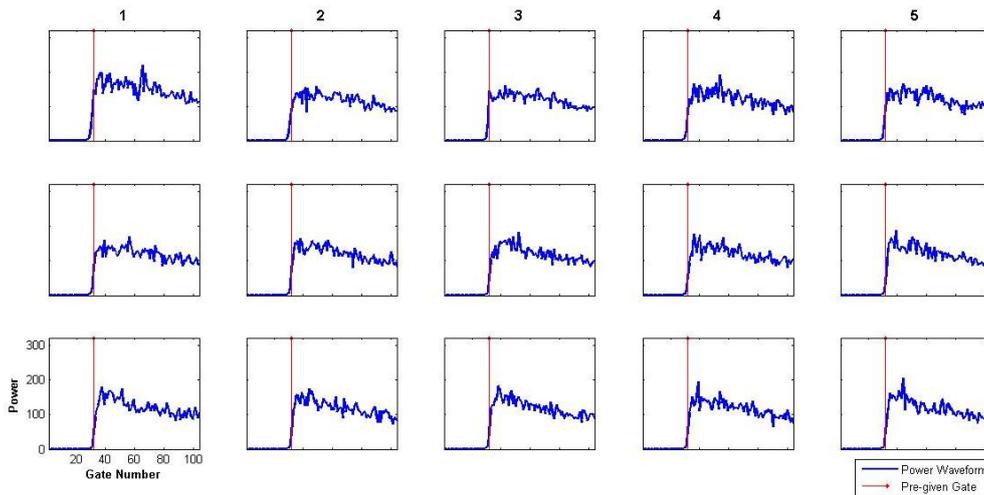


Gambar 9. Pola tiga dimensi *waveform* satelit altimeter Jason-2 Tahun 2013 pada lintasan 127 periode 178 pada jarak 10-50 km dari garis pantai: (a) tampak samping dan (b) tampak atas.

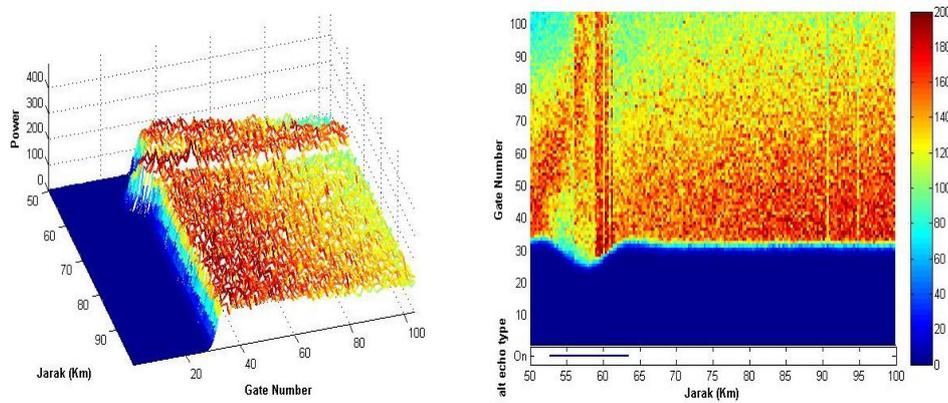
grafik dua dimensi (Gambar 10) juga terlihat bahwa *pre-given gate* dari *on-board tracker* tepat berada di tengah-tengah saat terjadi LEP pada *waveform*.

3.1.3. Jarak 50-100 km dari Garis Pantai

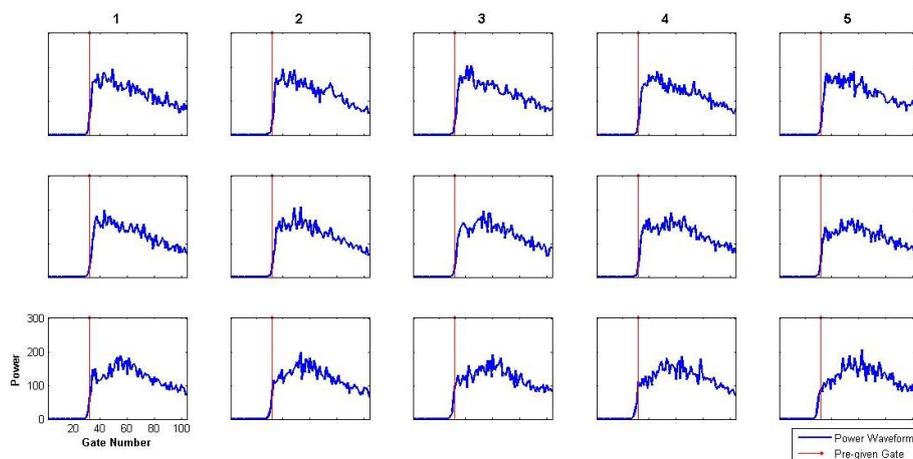
Hasil identifikasi terhadap pola *waveform* satelit altimeter Jason-2 tahun 2013 pada lintasan 051, 064, 140, 127, dan 203 dalam kategori jarak 50-100 km dari garis pantai secara umum menghasilkan bentuk *waveform* yang ideal (*Brown-waveform*). Namun, pada beberapa periode di tiap lintasan, sebagian kecil masih ditemui pola *non-Brown-waveform*. Pada grafik tiga dimensi *waveform* satelit altimeter Jason-2 tahun 2013 pada lintasan 140 periode 180 ditemui beberapa *waveform* yang tidak ideal atau *non-Brown-waveform* (Gambar 11). Algoritma estimasi tinggi paras laut juga mengindikasikan error *waveform* pada jarak 52-63 km (kriteria edit “*alt_echo_type*” aktif pada daerah ini) (Gambar 11b). Hal ini juga terlihat pada grafik dua dimensi (Gambar 12) dimana nilai *waveform* maksimum berada jauh setelah “*pre-given gate number*” yang menandakan pola yang tidak ideal atau *non-Brown waveform*.



Gambar 10. Bentuk dua dimensi lima belas *waveform* pertama satelit altimeter pada lintasan 127 periode 178 pada jarak 10-50 km dari garis pantai.



Gambar 11. Bentuk tiga dimensi *waveform* satelit altimeter Jason-2 pada lintasan 140 periode 180 pada jarak 50 – 100 km dari pantai: (a) tampak samping dan (b) tampak atas.



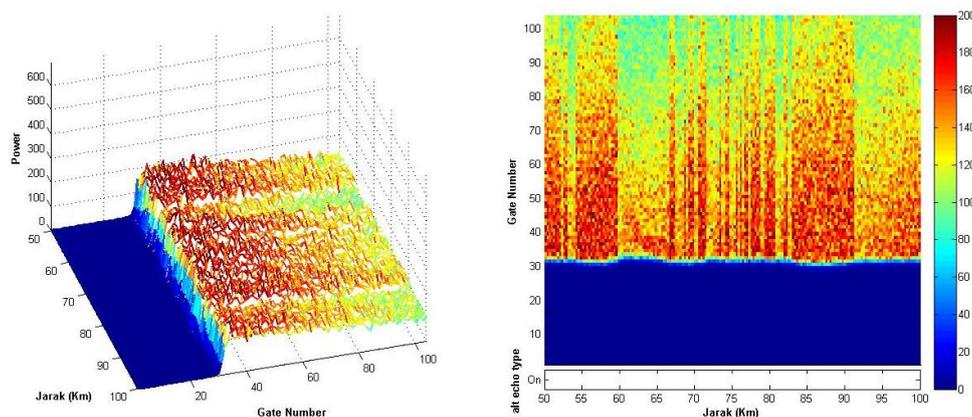
Gambar 12. Bentuk dua dimensi lima belas *waveform* pertama satelit altimeter Jason-2 tahun 2013 pada lintasan 140 periode 180 pada jarak 50-100 km dari pantai.

Secara umum, pada jarak 50-100 km dari garis pantai, hasil penelitian menunjukkan bahwa hampir semua *waveform* yang dihasilkan berbentuk *Brown-waveform* seperti terlihat pada contoh pola tiga dimensi *waveform* (Gambar 13) dan pola dua dimensi *waveform* (Gambar 14) pada lintasan 051 periode 202. Hal ini juga dibuktikan dengan tidak adanya kriteria edit “*alt_echo_type*” yang aktif (Gambar 13b).

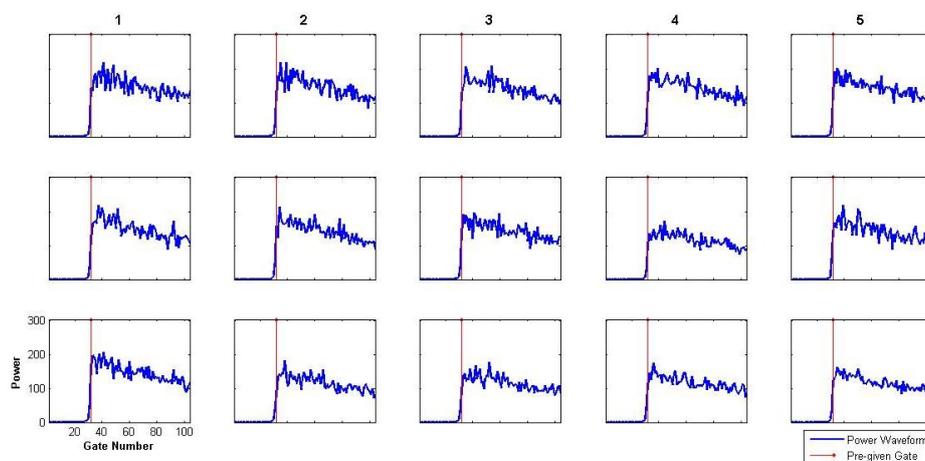
3.2. Variabilitas dan Bentuk Umum *non-Brown Waveform*

Hasil penelitian ini menunjukkan ada empat bentuk umum *non-Brown waveform* yang ditemui pada setiap

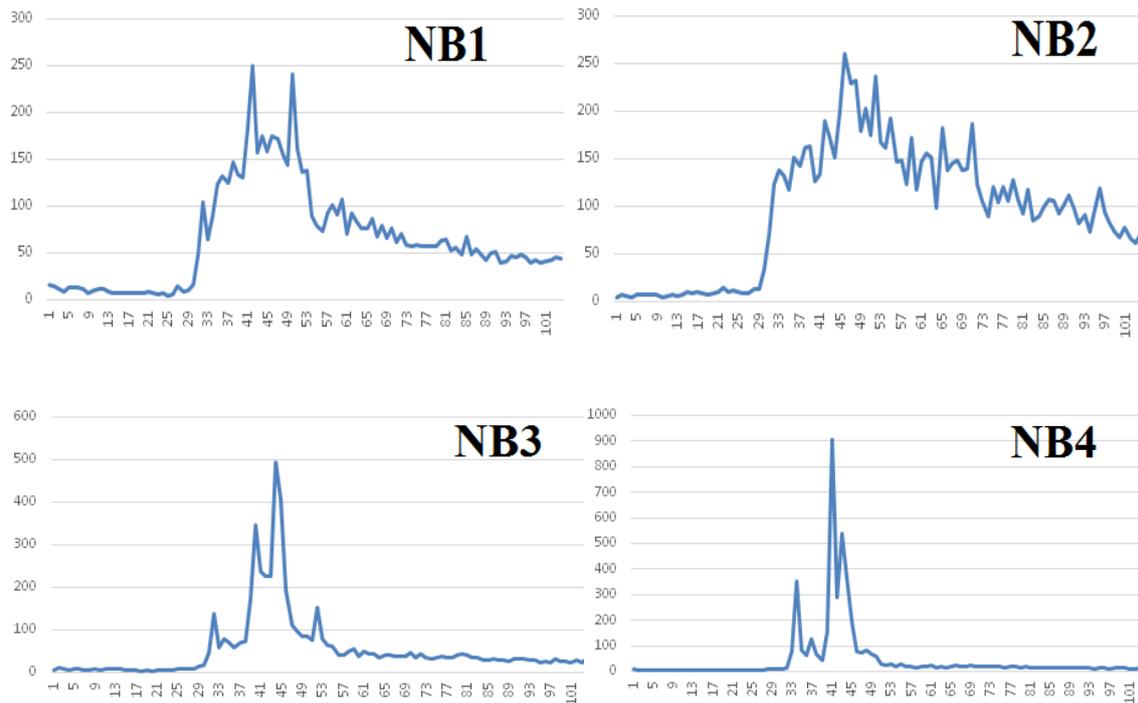
lintasan satelit altimeter Jason-2 tahun 2013 yaitu bentuk kompleks dengan dua puncak (*peak*) (NB1), bentuk kompleks dengan puncak (*peak*) di tengah (NB2), bentuk runcing dengan cabang banyak (NB3), dan bentuk runcing bercabang sedikit (NB4) (Gambar 15). Jumlah bentuk atau pola *waveform* ini bervariasi selama pengamatan. Persentasi *non-Brown-waveform* terbesar ditemui pada kategori jarak 0-10 km dari garis pantai dengan nilai sebesar 69% dimana tipe *non-Brown-waveform* tipe NB2 paling banyak ditemui dengan persentasi 29% diikuti dengan NB1, NB3, dan NB4 masing-masing 18%, 11%, dan 11% (Tabel 1). Pada kategori jarak 10-50 km



Gambar 13. Pola tiga dimensi *waveform* satelit altimeter Jason-2 tahun 2013 pada lintasan 051 periode 202 pada jarak 50-100 km dari pantai: (a) tampak samping dan (b) atas.



Gambar 14. Bentuk dua dimensi lima belas *waveform* pertama satelit altimeter Jason-2 tahun 2013 pada lintasan 051 periode 202 pada jarak 50-100 km dari pantai.



Gambar 15. Empat pola umum *non-Brown waveform* yang ditemui pada daerah penelitian.

Tabel 1. Persentasi *non-Brown waveform* dari seluruh waveform satelit altimeter Jason-2 tahun 2013 di daerah penelitian.

Jarak (km)	N-1 (%)	N-2 (%)	N-3 (%)	N-4 (%)	Jumlah (%)
0-10	18	29	11	11	69
10-50	02	2	0	0	5
50-100	1	2	0	0	3
Mean	7	11	4	4	26

dari garis pantai, jumlah *non-Brown-waveform* hanya berjumlah 5%, dan pada kategori jarak 50-100 km dari garis pantai hanya memiliki 3% *non-Brown-waveform* (Tabel 1). Dengan demikian, pada kategori jarak 10-50 km dan 50-100 km dari garis pantai ditemui *Brown-waveform* lebih dari 95%.

Tingginya variabilitas pola *waveform* pada daerah pesisir dalam hal ini pada jarak 0-10 km dari garis pantai (69%) menunjukkan tidak adanya konsistensi bentuk atau pola waveform pada perairan dekat dengan garis pantai atau daratan. Variabilitas ini juga terlihat

antar musim dimana tidak ditemui homogenitas pola waveform dalam satu musim maupun antar musim. Hasil ini mungkin disebabkan oleh pengaruh kondisi atmosfer yang berbeda dalam satu musim maupun antar musim.

Variabilitas yang tinggi pada bentuk *waveform* di daerah pesisir mengindikasikan bahwa hasil estimasi ketinggian paras laut pada daerah pesisir memiliki tingkat akurasi yang rendah. Untuk itu, perlu dilakukan analisis retracking terhadap data satelit altimeter khususnya pada perairan pesisir maupun laut dangkal. Indonesia yang dipenuhi banyak pulau

dan memiliki banyak laut dangkal mengharuskan dilakukannya proses identifikasi *waveform* untuk seluruh perairan Indonesia dan melakukan analisis *retracking* terhadap data satelit altimeter untuk meningkatkan akurasi hasil estimasi tinggi paras laut di Indonesia.

IV. KESIMPULAN

Hasil identifikasi terhadap bentuk *waveforms* pada setiap lintasan dan masing-masing kategori jarak selama tahun 2013 secara umum dikategorikan kedalam 5 (lima) pola yaitu 4 (empat) pola *non-Brown-waveform* dan 1 (satu) pola *Brown-waveform*. Keempat pola *non-Brown-waveform* tersebut secara umum berbentuk kompleks dengan dua atau lebih puncak (*peak*) (NB1), bentuk kompleks dengan puncak (*peak*) di tengah (NB2), bentuk runcing dengan cabang banyak (NB3), dan bentuk runcing bercabang sedikit (NB4).

Persentasi *non-Brown waveform* terbesar ditemui pada kategori jarak 0-10 km dari garis pantai dengan nilai sebesar 69%. Pada kategori jarak 10-50 km dari garis pantai, jumlah *non-Brown-waveform* hanya berjumlah 5% dan pada kategori jarak 50-100 km dari garis pantai hanya memiliki 3% *non-Brown-waveform*.

Pola *Brown-waveform* sudah dapat ditemui pada jarak sekitar 7.5 km dari garis pantai, namun di laut lepas terkadang masih ditemui *non-Brown waveform*. Hal ini dikarenakan pantulan gelombang elektromagnetik dari daratan dapat menyebabkan *noise* pada bentuk *waveforms*. Faktor lain seperti kedalaman dan bentuk permukaan perairan, aerosol di atmosfer, bangunan (contoh: mercusuar atau kapal), dan lainnya juga dapat menyebabkan *noise* pada *waveforms* yang ada walaupun jauh dari pantai.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini dibiayai oleh Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi melalui proyek penelitian BOPTN penelitian strategis IPB tahun 2014. Penulis mengucapkan terima kasih kepada para reviewer yang telah banyak memberi masukan dan komentar untuk memperbaiki tulisan ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Adrian, D. 2013. *Waveform retracking* Satelit Jason-2 pada pesisir selatan Jawa Tengah dan Jawa Barat. Skripsi. Departemen Ilmu dan Teknologi Kelautan. Institut Pertanian Bogor. Bogor. 37hlm.
- Anzenhofer, M., C.K. Shum, and M. Rentsh. 1999. Coastal altimetry and applications. Tech. Rep. No. 464. Geodetic Science and Surveying, The Ohio State University, Columbus, USA.
- Bao, L., Y. Lu, and Y. Wang. 2008. Improved retracking algorithm for oceanic altimeter aaveforms. *Prog Nat Sci*. DOI: 10.1016/j.pnsc.2008.06.017.
- Brooks, R.L., D.W. Lockwood, J.E. Lee, D.W. Handcock, and G.S. Hayne. 1998. Land effects on TOPEX radar altimeter measurements in Pacific Rim coastal zones. In: Brown, R.A. (ed.). Remote sensing of the Pacific by satellite. Earth, Ocean, and Space Pty., Glebe, Australia. 175-198pp.
- Carton, J.A. and Y. Chao. 1999. Caribbean Sea eddies inferred from TOPEX/POSEIDON Altimetry and a 1/6° Atlantic Ocean model simulation. *J. of Geophys. Res.*, 104(C4):7743-7752.
- Chelton, D.B., J.C. Ries, B.J. Haines, L. Fu, and P. Callahan. 2001. Satellite altimetry. In: Fu, L. and A. Cazen-

- ve (eds.). Satellite altimetry and earth sciences. A handbook of techniques and applications. International Geophysics Series Volume 69. Academic Press. San Diego. 1-132pp.
- Davis, C.H. 1996. A robust threshold retracking algorithm for extracting ice-sheet surface elevation from satellite radar altimeters, *IGARSS*, 3:1783-1787.
- Davis, C.H. 1997. A robust threshold retracking algorithm for measuring ice-sheet surface elevation change from satellite radar altimeter. *IEEE Trans Geosci Remote Sensing*, 35(4):974-979.
- Deng, X. 2003. Improvement of geodetic parameter estimation in coastal regions from satellite radar altimetry. Ph.D. Dissertation. Curtin University of Technology, Australia, 248p.
- Deng, X. and W.E. Featherstone. 2006. A coastal retracking system for satellite radar altimeter waveforms: application to ERS-2 around Australia. *J. of Geophys. Res.*, 111. DOI: 10.1029/2005JC003039.
- Deng, X., W. Featherstone, C. Hwang, *et al.* 2002. Estimation of contamination of ERS-2 and Poseidon satellite radar altimetry close to the coasts of Australia. *Mar Geod.*, 25(1):249-271.
- Evans, D.L., W. Alpers, A. Cazenave, C. Elachi, T. Farr, *et.al.* 2005. Seasat a 25-year legacy of success. *Remote Sensing of Environment*, 94:384-404.
- Gommenginger, C., P. Thibaut, L. Fenoglio-Marc, G. Quartly, X. Deng, Gomez-Enri, P. Challenor, and Y.G. Gao. 2011. Retracking altimeter waveforms near the coasts. *Coastal Altimetry*. Vignudelli *et al.* (eds.). Springer. Berlin. DOI:10.1007/978-3-642-12796-0-4.
- Hancock, D.W.I. and D.W. Lockwood. 1990. Effects of island in the Geosat footprint. *J. Geophys. Res.*, 95(C3):2849-2855.
- Hwang, C., J.Y. Guo, X. Deng, H.Y. Hsu, and Y.T. Liu. 2006. Coastal gravity anomalies from retracked Geosat/GM Altimetry: improvement, limitation and the role of airborne gravity data. *J. Geod* 80:204-216 DOI: 10.1007/s00190-006-0052-x.
- Leben, R. and G.H. Born. 1993. Tracking Loop Current eddies with satellite altimetry, *Advances in Space Research*, 13(11):325-333.
- Leben, R.R., G.H. Born, and B.R. Engebret. 2002. Operational altimeter data processing for meso-scale monitoring. *Marine Geodesy*, 25:3-18.
- Leben, R.R. and B.S. Powell. 2003. Accuracy assessment of Jason-1 and TOPEX/POSEIDON along-track sea surface slope. *Marine Geodesy*, 26(3-4):355-366.
- Lee, H., C.K. Shum, W. Emery, S. Calmant, X. Deng, C.Y. Kuo, C. Roesler, and Y. Yi. 2010. Validation of Jason-2 altimeter data by waveform retracking over California coastal ocean. *Marine Geodesy*, 33(S1):304-316 DOI: 10.1080/01490419.2010.488982.
- Legresy, B. and F. Remy. 1997. Surface characteristics of the Antarctic ice sheet and altimetric observations. *J. of Glaciology*, 43(114):197-206.
- Martin, T.V., H.J. Zwally, A.C. Brenner, and R.A. Bindshadler. 1983. Analysis and retracking of continental ice sheet radar altimeter waveform. *J. Geophys. Res.*, 88: 1608-1616.
- Nababan, B., P. Manurung, J.L. Gaol, and R. Leben. 2012. Sea level rise and

- potential fishing ground detection using re-construction sea surface height dynamics of Indonesian waters and its surrounding. Year-1 final report International research collaboration and scientific publication competitive grant. Institute of Research and Community Services. Bogor Agricultural University. 105p.
- Quartly, G.D., M.A. Srokosz, and A.C. McMillan. 2001. Analyzing altimeter artifacts: statistical properties of ocean waveforms. *J. Atmos. Ocean. Technol.*, 18:2074–2091.
- Wunsch, C. 2006. Altimetry: Past, present, and future, Proc. of 15 years of progress in radar altimetry. Venice, 13-18 March 2006, ESA Special Publication SP-614. ESA Publications Division, ESTEC. 2200 AG Noordwijk, The Netherlands.
- Yang, Y., C. Hwang, H.J. Hsu, E. Dongchen, and H. Wang. 2012. A subwaveform threshold retracker for ERS-1 altimetry: a case study in the Antarctic Ocean. *Computers & Geosciences*, 41:88-98 DOI: 10.1016/j.cageo.2011.08.017.
- Yang, L., M. Lin, Y. Bai, and D. Pan. 2008. Retracking Jason-1 altimeter waveform over China coastal zone. *Proc. of SPIE*, Vol. 7154 71540K-10. doi: 10.1117/ 12.804835.
- Diterima* : 15 November 2014
Direview : 13 Desember 2014
Disetujui : 20 Desember 2014

