

ESTIMASI TINGGI GELOMBANG LAUT MENGGUNAKAN CITRA SATELIT ALOS-PALSAR (STUDI KASUS: PERAIRAN PULAU POTERAN, SUMENEP)

Zulfikar Adlan Nadzir¹⁾, Lalu Muhamad Jaelani¹⁾, Albertus Sulaiman²⁾

¹⁾Jurusan Teknik Geomatika, FTSP Institut Teknologi Sepuluh Nopember

²⁾Pusat Teknologi dan Inventarisasi Sumber Daya Alam, Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi
e-mail: lmjaelani@geodesy.its.ac.id

Abstrak. Energi gelombang air laut adalah salah satu jenis *ocean renewable energy (ORE)* yang menjadi salah satu potensi kemaritiman dari Indonesia. Energi tersebut mempunyai beberapa keunggulan bila dibandingkan dengan energi fosil (minyak dan gas bumi) dan menjadi salah satu jenis energi terbarukan yang banyak diteliti dan dikembangkan oleh peneliti dari seluruh dunia. Salah satu upaya memetakan potensi energi gelombang laut adalah dengan menghitung tinggi gelombang air laut tersebut menggunakan berbagai metode pengamatan, salah satunya adalah *Synthetic Aperture Radar (SAR)*. SAR adalah salah satu jenis sensor penginderaan jauh yang sedang berkembang dimana dapat memonitor dan memetakan tinggi gelombang air laut secara cepat dan efektif. Dalam penelitian ini, sebuah citra SAR diolah untuk mendapatkan tinggi gelombang di perairan Pulau Poteran, Madura. Pengolahan data citra SAR dilakukan dengan menggunakan metode *Fast Fourier Transform (FFT)* dan *Band-Pass Filtering* setelah mengalami proses pengolahan awal dengan perangkat lunak Matlab. Data SAR yang digunakan adalah citra satelit ALOS-PALSAR bertanggal 12 Mei 2009 dan diakuisisi dalam mode *Full-Polarimetry*. Hasil pengolahan menunjukkan bahwa di perairan sekitar Pulau Poteran, Madura mempunyai panjang gelombang dominan sebesar 559,0170 dan 883,8835 m dan periode sebesar 56,579 dan 89,3609 sekon yang memenuhi syarat menjadi sebuah *swell*. Tinggi gelombang signifikan ($H_{1/3}$) yang dihasilkan mencapai 3,713 meter dengan rerata dari semua indeks matriks ($H_{1/2}$) sebesar 2,986 meter.

Kata Kunci: ALOS-PALSAR; FFT; gelombang air laut; Matlab; Pulau Poteran

Abstract. *Ocean wave energy is one of the Ocean Renewable Energy (ORE) which becomes one of the maritime potential of Indonesia. These energy has several advantages over fossil energy (oil and natural gas). Furthermore, these renewable energies is now become one of the most researched renewable energy in the world by the scientists. One of the ocean wave energy mapping process is done by computing wave height using several method of computation and observations. Synthetic Aperture Radar (SAR) is one of remote sensing sensor which can be used to monitor and mapping ocean wave height, fastly and effectively. In this research a computations of ocean wave height is done, using Fast Fourier Transform (FFT) and Band-Pass Filter after being pre-processed using Matlab software. In this research, we used ALOS-PALSAR Satellite Imagery with acquired date of 5/12/2009 in Full-Polarimetry Mode. Research result shown that Poteran's Island Waters in Madura had dominant wavelength of 559.0170 and 883.8835 meters, and wave period of 56.579 and 89.3609 seconds which fulfilled the requirements of swell. From the research we computed that the value of Significant Waveheight is 3.713 meters, while the value of Mean Waveheight is 2.986 meters.*

Keywords: ALOS-PALSAR; FFT; ocean wave; matlab;Poteran Island

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Indonesia adalah sebuah negara kepulauan yang memiliki 13.466 pulau (United Nations Economic and Social Council, 2012) dan sebagian besar wilayahnya terdiri dari daerah perairan atau lautan. Bentuk geografis dari negara ini menyebabkan Indonesia mempunyai luas lautan sebesar 5,8 juta km² (Kementrian Kelautan dan Perikanan Republik Indonesia, 2013). Lautan yang

luas tersebut membuat Indonesia mempunyai peluang yang yang besar dalam sektor kemaritiman, seperti perikanan dan sebagai sumber energi terbarukan.

Salah satu potensi dari sektor kemaritiman Indonesia adalah energi terbarukan yang berasal dari lautan atau *Ocean Renewable Energy (ORE)*. *Ocean Renewable Energy (ORE)* tersebut sampai saat ini masih bersifat konseptual atau masih

berada pada tahap penelitian awal (*preliminary assesment*). Sumber energi yang tersebar di seluruh dunia secara merata dan sifatnya yang bisa diprediksi melalui proses *modelling* dan *hindcasting* dan mempunyai densitas energi yang tinggi membuat ORE mempunyai potensi yang sangat tinggi untuk memberi efek positif dan menjadi sumber energi utama dunia pada masa mendatang (Lewis, 2011).

Salah satu jenis ORE adalah energi gelombang laut atau *Ocean Wave Energy*. Jenis energi ini merupakan bentuk energi yang terbentuk dari perpindahan dan pergerakan angin di lautan, yang mengakibatkan terbentuknya gelombang di permukaan laut yang mempunyai energi potensial dan energi kinetik tertentu, sesuai dengan besar angin yang membangkitkan gelombang tersebut. Gelombang ini mempunyai model matematis yang ditentukan dalam fungsi periode, frekuensi (*radial frequency*), nomor gelombang (*wave number*) dan panjang gelombang (*wave length*). Melalui proses permodelan yang dilakukan oleh Lewis pada tahun 2011, potensi energi gelombang laut di dunia diperkirakan sangat besar, yaitu mencapai 32.000 TWh/tahun. Di Indonesia sendiri, potensi energi gelombang laut juga mencapai 5 kali suplai listrik negara yang ada pada tahun 2014, yaitu mencapai 141.472 MWh/tahun (Mukhtasor, 2014). Pada tahun 2011, sudah dilakukan *preliminary assesment* yang dilakukan oleh Kementerian ESDM untuk mengetahui lokasi mana di Indonesia yang mempunyai potensi energi gelombang laut yang tinggi. Salah satu lokasi potensial yang mempunyai energi gelombang laut yang tinggi adalah di selat antara Pulau Lombok dan Pulau Bali, yaitu Selat Lombok (Mukhtasor, 2014), dimana di lokasi tersebut pada Bulan Agustus merupakan bulan yang mempunyai tinggi gelombang paling tinggi, dibandingkan dengan bulan-bulan lain karena pengaruh hembusan angin yang kuat, berdasarkan pola yang didapat pada penelitian tentang energi gelombang laut secara global (Arinaga & Cheung, 2012). Lokasi lain yang merupakan lokasi yang membutuhkan pemetaan energi gelombang laut dan merupakan lokasi potensial adalah Pulau

Poteran yang berlokasi di bagian tenggara Pulau Madura, Jawa Timur.

Salah satu media atau alat yang bisa digunakan untuk memetakan potensi energi gelombang laut adalah menggunakan satelit *Synthetic Aperture Radar* (SAR), dimana sudah dilakukan beberapa penelitian awal untuk memetakan tinggi gelombang laut menggunakan citra satelit SAR ini. Hanya saja, penelitian yang sudah dilakukan oleh Thomas pada tahun 1982 dan Sugimoto pada tahun 2011 terbatas pada pengukuran tinggi gelombang dari permukaan laut saja, dimana penelitian yang dilakukan Thomas menggunakan citra SEASAT-SAR, dengan cakupan area Eropa (Thomas, 1982), sedangkan penelitian Sugimoto menggunakan citra satelit ALOS-PALSAR dengan wilayah studi Kepulauan Izu di Jepang, dengan hasil perhitungan sebesar 0-7 meter dan rata-rata hasil sebesar 3-4 meter (Sugimoto, Shioto, & Ouchi, 2011).

Dalam penelitian ini, akan dilakukan sebuah proses estimasi tinggi gelombang air laut di daerah perairan Pulau Poteran, Madura yang diketahui memiliki potensi energi gelombang laut yang tinggi dengan menggunakan data citra satelit ALOS-PALSAR. Diharapkan penelitian ini dapat mengambil peran sebagai salah satu langkah awal dalam menyelesaikan krisis energi di Indonesia, dengan *Ocean Renewable Energy* sebagai tulang punggungnya, khususnya *Ocean Wave Energy* untuk menyelesaikan masalah ketersediaan energi terbarukan untuk memajukan taraf hidup masyarakat di Pulau Poteran, Madura.

METODOLOGI

Metode Penelitian

Berlokasi di perairan Pulau Poteran, Madura yang terletak di antara koordinat 113,937485 BT (Bujur Timur), 7,066742 LS (Lintang Selatan) sampai 114,064171 BT, 7,102686 LS dimana terletak di dua zona UTM, yaitu 49S dan 50S yang secara administratif terletak di Kabupaten Sumenep, dan terletak di Tenggara kota Sumenep dan Pulau utama Madura yang ditunjukkan seperti dijelaskan pada Gambar 1, penelitian ini menggunakan citra satelit

ALOS-PALSAR sebagai data utama, dan proses-proses *image processing* seperti *Fast Fourier Transform* dan *Band-Pass Filtering* untuk mendapatkan estimasi energi gelombang laut. Dalam melakukan penelitian untuk melakukan Estimasi Energi Gelombang Laut menggunakan citra ALOS-PALSAR, penulis menggunakan pendekatan penelitian melalui modeling tinggi gelombang air laut dan pengolahan citra satelit ALOS-PALSAR dengan proses dan tahapan penelitian sebagaimana dijelaskan pada Gambar 2 di bawah ini, dan berikut penjelasannya.

Identifikasi Masalah

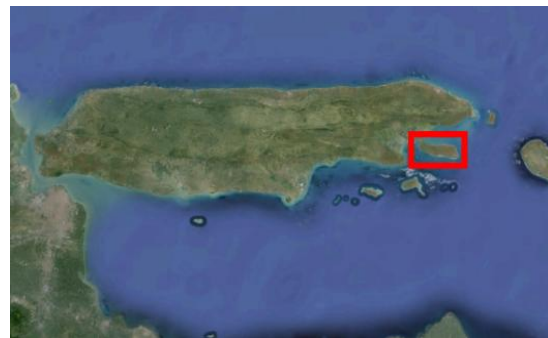
Pada proses ini dilakukan pencarian masalah krisis energi yang ada di Indonesia, khususnya krisis energi yang terletak di pulau-pulau terpencil, dan yang akan diangkat pada penelitian ini adalah berapa besar potensi energi gelombang laut yang ada di sekitar pulau-pulau terpencil di Madura yang sampai pada tahun 2014 masih belum dialiri listrik secara lancar.

Studi Literatur

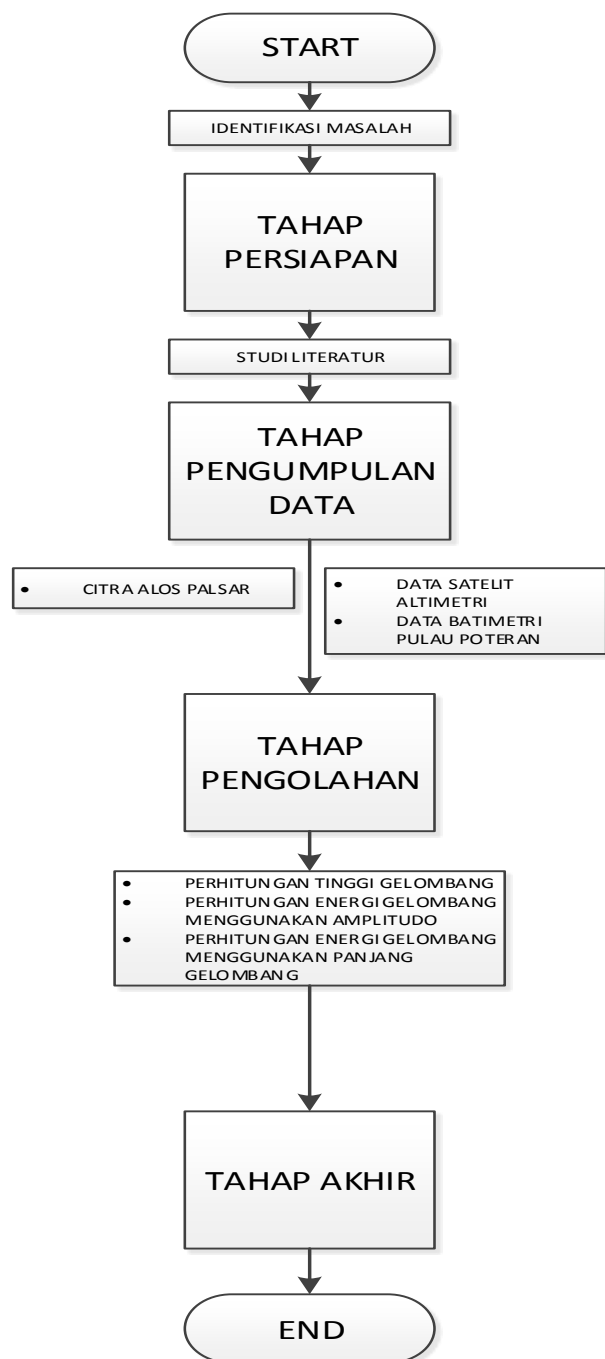
Setelah mendapatkan lokasi penelitian dan fokus masalah yang akan diteliti, dilakukan proses studi literatur untuk menyiapkan metode dan pemahaman akan masalah dan solusi penyelesaiannya. Kegiatan yang dilakukan dalam proses ini adalah pencarian referensi terkait topik yang diusulkan, yaitu: a) SAR (*Synthetic Aperture Radar*). b) Energi gelombang laut (*Ocean Wave Energy*). c) Satelit ALOS-PALSAR. Referensi yang dicari berasal dari sumber elektronik dan non-elektronik terpercaya, seperti jurnal ilmiah, buku dan publikasi dari instansi terkait.

Pengumpulan Data

Dalam tahap ini dilakukan pengambilan dan pengumpulan data-data penelitian yang dibutuhkan, baik primer dan sekunder.



Gambar 1. Lokasi Penelitian.



Gambar 2. Diagram Alir Penelitian.

Data primer yang dibutuhkan adalah citra satelit ALOS-PALSAR di sekitar Pulau Poteran, Madura, dengan penjelasan proses ordering sebagai berikut ini:

- Proses Order Data
Membuka <https://www.gportal.jaxa.jp/gp/> untuk melakukan proses pencarian data yang diinginkan, berdasar pada jenis satelit, waktu pengambilan data, mode pengambilan data, dan proses pengunduhan file.csv untuk order data. Setelah itu, file.csv tadi akan di seleksi untuk dipilih file-file yang akan di-order. Kirimkan file .csv tersebut ke alos_od@restec.or.jp beserta file Microsoft Excel berisi keterangan siapa pengorder data tersebut. Opsi ini hanya tersedia bagi yang berafiliasi dengan PI (*Principal Investigator*) yang ditunjuk JAXA (*Japan Aerospace and Exploration Agency*).
- Proses Transfer Data
Setelah beberapa hari, file akan sampai ke alamat pengorder berupa CD/DVD sesuai dengan jumlah *scene* yang di order. Untuk sekarang, opsi unduh langsung tidak dimungkinkan karena JAXA sedang melakukan pembaruan dari server untuk menyiapkan data dari ALOS2.

Pengolahan Data

Data-data yang didapatkan pada proses pengumpulan data di atas selanjutnya diproses menggunakan aplikasi MATLAB. Data tersebut sebelumnya sudah diproses terlebih dahulu di aplikasi ASF MapReady untuk persiapan (*pre-processing*), sehingga berbentuk data gambar yang berekstensi *.tiff, berjumlah 12 untuk setiap *scene* karena mewakili setiap bagian yaitu nilai *backscatter coefficient* yang berbentuk sigma naught dan mempunyai satuan Desibel (dB) pada polarisasi HH, VV, HV, VH dan Amplitudo. Pada proses pengolahan data, dilakukan proses *pre-processing* terhadap citra satelit ALOS-PALSAR untuk mendapatkan citra amplitudo dan RCS (*Radar Cross Section*) dari polarisasi HH dan VV. Setelah itu, dilakukan proses pemasukan citra kedalam matriks berdimensi 100x100 piksel (1.25x1.25 km) dengan banyak matriks sebanyak 43 buah, yang selanjutnya

dilakukan perhitungan *Incidence Angle* setiap piksel citra dengan rumus tertentu yang didapatkan dari referensi. Pada citra amplitudo dilakukan proses *Fast Fourier Transform* dan *Band Pass Filtering* untuk mendapatkan panjang gelombang dominan dari citra dan juga periode dominan dari gelombang air laut yang terdeteksi di citra satelit ALOS-PALSAR. Citra hasil analisa tersebut akan dicari nilai puncak setiap gelombang (*Local Maxima*) untuk nantinya didapatkan nilai gelombang permukaan air laut yang berasal dari lokasi *Local Maxima* tersebut. Rumus-rumus yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagaimana ditunjukkan oleh persamaan (1) dari (Sugimoto, Shiroto, & Ouchi, 2011) berikut.

$$H = \frac{L}{2\pi} \tan(< \theta_{max} >) \quad (1)$$

Rumus di atas merupakan fungsi kosinus normal yang juga berlaku untuk gelombang. Dengan tinggi gelombang (H), *Dominant Wavelength* (L) dan *Mean Slope* (θ_{max}).

Tahap Akhir

Tahap ini merupakan tahap yang terakhir dan berisi penarikan kesimpulan dan saran yang didasarkan pada proses yang sudah dilakukan, hasil yang diperoleh dan bagaimana validasi terhadap hasil yang ada, untuk nantinya bisa didapatkan saran agar bisa dijadikan referensi dalam penelitian yang lebih lanjut tentang pemetaan potensi energi gelombang laut di Indonesia.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pre-Processing

Proses awal yang dilakukan terhadap data citra satelit ALOS-PALSAR adalah proses *Pre-Processing* yang dilakukan di ASF MapReady. Proses ini dilakukan terhadap salah satu dari data citra yang ada yaitu pada data dengan *scene id* (kode gambar) **ALPSRP175707050** dengan waktu pengambilan pada 12 Mei 2009. Informasi yang disimpan di data tersebut adalah tangkapan dengan polarisasi HH, polarisasi VV dan amplitudo. Yang membedakan

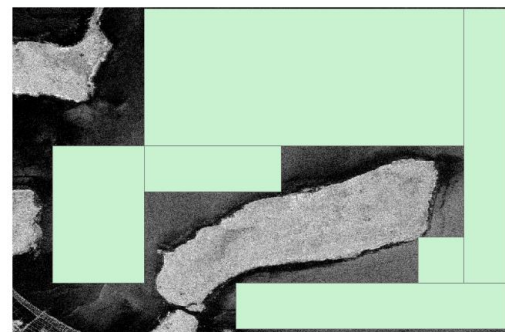
ketiga macam data tersebut adalah *Digital Number* yang tersimpan pada setiap piksel, dimana mencerminkan *Sigma Naught* untuk polarisasi HH dan VV dengan satuan desibel (dB) serta *Backscatter Power* untuk amplitudo. Gambar hasil proses *pre-processing* ini ditampilkan pada Gambar 3 berikut, sedangkan tabel yang berisi metadata (informasi) dari citra tersebut ditunjukkan pada Tabel 1 di bawah ini. Gambar yang dihasilkan ini belum mendapatkan referensi koordinat dan juga terbalik dari keadaan nyata dikarenakan pada saat pengambilan data, satelit ALOS dalam mode *Ascending* (naik), yang berarti bergerak dari Selatan ke Utara yang mengakibatkan daerah dengan lintang yang lebih tinggi terekam terlebih dahulu.



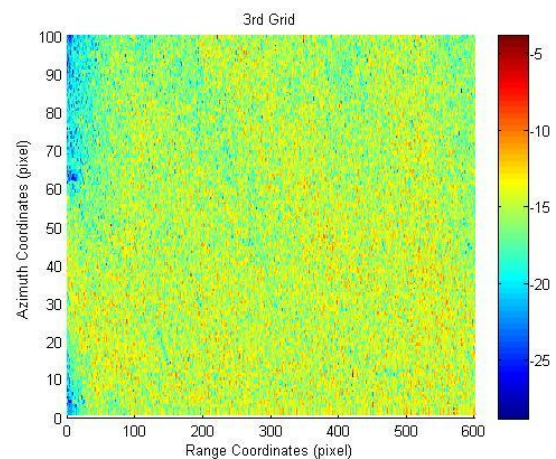
Gambar 3. Citra Satelit ALOS-PALSAR Polarisasi HH Hasil *Pre-Processing*.

Subsetting and Gridding

Data yang sudah diproses menggunakan ASF MapReady setelah itu diproses di Matlab untuk diambil daerah tertentu saja, yang sesuai dengan daerah penelitian dan bebas daratan. Grid yang diambil berjumlah 6 grid, dan didapatkan dari proses pengambilan koordinat piksel secara manual di ArcGIS, seperti ditunjukkan pada Gambar 4 berikut ini, dimana koordinat piksel dan luas piksel dari setiap grid tersebut ditunjukkan oleh Tabel 2. Perlu diperhatikan bawa Matlab menganggap semua data yang diinput adalah Matriks, sehingga mulai proses ini gambar yang ada berubah bentuk menjadi matriks yang berisikan *digital number* dari setiap piksel, seperti ditunjukkan oleh Gambar 6. Salah satu hasil dari proses ini ditunjukkan oleh Gambar 5 yang merepresentasikan data pada Grid 3 yang berdimensi 100x600 piksel.



Gambar 4. Grid Sekitar Pulau Poteran.



Gambar 5. Representasi dari Grid Ke-3.

Tabel 1. Metadata Citra Satelit ALOS-PALSAR.

***** begin of Dataset Summary record *****

DSS SEQ NUM	1
SAR CHNL INDTR	0
SCENE INDICATOR	ALPSRP175707050
SCENE DESIGNATOR	
INPT SCN CTR TIME	20090512150955202
ASC/DESCENDING	
LAT @ SCN CTR	0.0000000
LONG @ SCN CTR	0.0000000
SCN CTR HEADING	0.0000000
ELLIP DESIGNATOR	GRS80
ELLIP SEMIMAJOR	6378.1370000
ELLIP SEMIMINOR	6356.7523141
EARTH MASS	5.9740000
GRAVITATIONAL CNST	3.9860050
ELLIP PARM 1	0.1082629
ELLIP PARM 2	-0.0000254
ELLIP PARM 3	-0.0000162
AVG TERRAIN HT	0.0000000
IMG CTR LINE NUM	9216.000000
IMG CTR PIX NUM	544.000000
IMAGE LENGTH	0.0000000
IMAGE WIDTH	0.0000000
NUM SAR CHANNELS	4
MISSION ID	ALOS
SENSOR ID	ALOS -L -H 62-
ORBIT NUMBER	17570
PLAT LAT @ NADIR	0.000
PLAT LONG @ NADIR	0.000
PLAT HEADING	0.000
SNSR CLK ANGLE	90.000
INCIDENCE ANGLE	25.776
RADAR FREQUENCY	0.000
RDR WAVELENGTH	0.2360571

Tabel 2. Koordinat Lokal Grid.

Nomor Grid	Baris	Kolom	Luas (piksel)
1	1-600	989-1088	600x100
2	501-600	889-988	100x100
3	601-700	489-1088	100x600
4	1-300	289-988	300x700
5	301-400	289-588	100x300
6	301-600	89-288	300x200

Bisa dilihat bahwa di Gambar 5, data berada pada kisaran angka minus 5 sampai minus 25 yang berarti data sudah benar berada di lautan karena data di daratan mempunyai nilai lebih dari 0, sesuai dengan logika bahwa *backscatter power* daratan lebih besar karena cenderung memantulkan sinyal daripada lautan yang cenderung menyerap sinyal.

Storing and Local Incidence Angle Computation

Data yang sudah di-*subset* haruslah disimpan dalam sebuah matriks terpadu yang memungkinkan perhitungan-perhitungan dalam satu langkah saja, sehingga dilakukan proses penyimpanan grid tersebut dalam dua matriks berdimensi 3, tepatnya **100x100x16** dan **100x100x27**, dimana matriks#1 berisikan grid **2, 3, 5 dan 6** yang berlokasi di **dekat pantai** dan matriks#2 yang berisikan grid **1 dan 4** dan berlokasi di **tengah lautan**. Matriks ini

Variable Editor - A

File Edit View Graphics Debug Desktop Window Help

Stack: Base No valid plots for: A(1,1)

A <2633x1088 single>

	1	2	3	4	5	6	7
1	-24.4968109	-21.6208935	-21.5159855	-21.7786369	-22.4865627	-24.6456738	-24.0617619
2	-22.3406887	-25.7896156	-23.1924763	-22.3623486	-23.8943577	-21.8994961	-21.5782433
3	-22.4879112	-23.4701023	-21.6430149	-22.4976044	-23.3287163	-23.1471310	-24.0402584
4	-23.3751144	-21.6171303	-25.3323803	-23.0150852	-24.3168068	-22.1756687	-22.2017555
5	-26.5466576	-21.7724819	-22.7104244	-21.7448273	-18.5686970	-24.4443188	-22.4451599
6	-22.5210590	-23.2584610	-23.1665668	-19.6004944	-26.5281830	-23.8817501	-22.6515083
7	-18.6071281	-23.7313824	-20.2954445	-22.8274097	-24.3970718	-22.2639885	-24.2537594
8	-21.8031807	-22.1628284	-24.9840164	-22.2836590	-25.5650463	-21.2243538	-23.4298763
9	-25.0449467	-21.1846676	-18.7972832	-20.4591160	-19.5663013	-18.7498569	-23.5101471
10	-19.4319477	-23.4362679	-20.2506504	-21.9355278	-22.4601631	-24.1574650	-20.9384899
11	-22.5516453	-20.1789570	-25.3762436	-23.6276226	-22.3062763	-19.4605751	-22.0342331
12	-21.7873440	-23.9038372	-19.8528023	-20.9500790	-21.6845379	-22.4594612	-24.1943741
13	-21.0857010	-20.8151455	-20.2276878	-19.0829029	-23.2596817	-19.8696899	-20.8852825
14	-19.3773537	-22.7239323	-21.5403862	-21.0231133	-20.2774124	-25.3266582	-19.3680344
15	-22.4395180	-24.6297646	-26.2289410	-23.4575558	-21.0345592	-20.8338985	-21.7930126
16	-22.1060886	-20.6512051	-24.2918892	-22.0775108	-20.7205944	-22.7359505	-20.0495434
17	-20.1133919	-24.0192871	-23.2154827	-23.0055351	-21.0486946	-21.0806236	-21.5198212
18	-23.6617413	-22.9734745	-25.6099014	-23.4298477	-23.1396046	-21.0153542	-23.7316170
19	-21.2665405	-24.8601913	-23.7164822	-19.0465202	-20.7178288	-23.0105305	-20.8427181
20	-23.1912937	-22.5271149	-21.5387745	-21.4839153	-22.6045284	-21.2080994	-22.4141731
21	-27.1703930	-23.5962830	-22.7300720	-19.6534233	-21.9878769	-20.5312424	-22.7760315
22	-21.2270546	-23.9463482	-22.4507389	-20.9114819	-20.1458569	-20.5329990	-21.4871731
23	-20.3474369	-23.7657070	-27.3378239	-22.4805470	-18.4730511	-18.9415970	-21.6971169
24	-21.9832344	-20.8625813	-20.1342659	-22.4307995	-22.6955147	-20.9719257	-24.3527699
25	-21.5506897	-22.5344772	-24.2902298	-24.5041809	-25.1910381	-19.4037094	-18.9607353
26	-21.5826416	-23.6074486	-23.9398212	-23.1176167	-21.7443905	-18.9666290	-24.1919899
27	-22.2800274	-23.3777084	-24.0213737	-22.9963017	-21.9310074	-21.5828915	-19.9502201
28	-24.2263432	-22.6085129	-20.5427017	-20.5601063	-19.0914555	-21.1220570	-19.5192184
29	-19.7349548	-18.9093933	-26.6687603	-23.2626877	-22.6381607	-19.7975311	-23.3746395
30	-20.4383469	-19.5808296	-20.8168507	-21.4211483	-23.3161583	-19.0526466	-22.2251053
31	-26.2397633	-27.5832806	-20.2849464	-22.4242554	-23.4830208	-24.9552689	-22.5074005
32	-23.4087334	-22.6410446	-19.2872849	-19.1342545	-19.7556477	-24.1865635	-26.8572769
33	-19.9583130	-20.8610058	-20.2415047	-21.8479443	-26.1903362	-22.4619999	-20.7447681

Gambar 6. Matriks dari Citra Polarisasi HH.

bertindak seperti rak yang menyimpan setiap grid dalam setiap *singleton* dimensi 3 nya. Salah satu isi dari matriks tersebut ditunjukkan pada Gambar 7.

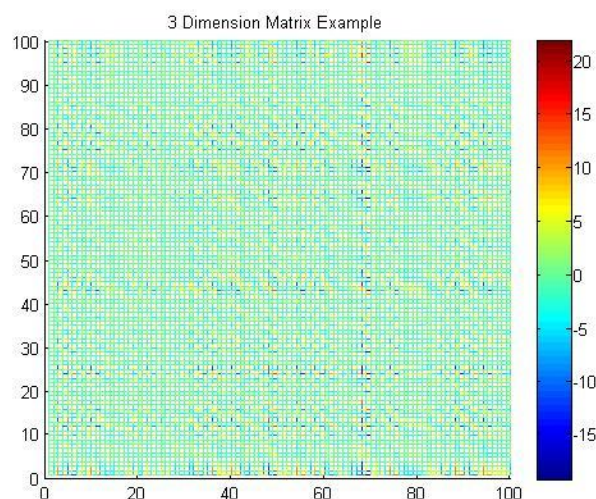
Proses perhitungan *Local Incidence Angle* pun dilakukan terhadap matriks rak tersebut. Rumus yang digunakan adalah rumus 25 dan mempunyai grafik seperti ditunjukkan pada Gambar 8 di bawah ini. Nilai yang didapat berkisar antara 21-25° yang masih masuk toleransi, dimana sudut *off-nadir* dari ALOS-PALSAR adalah 25,1° dan *initial incidence angle* dari citra tersebut adalah 23,8412.

FFT, Dispersion Relation Equation and Band Pass Filter Process

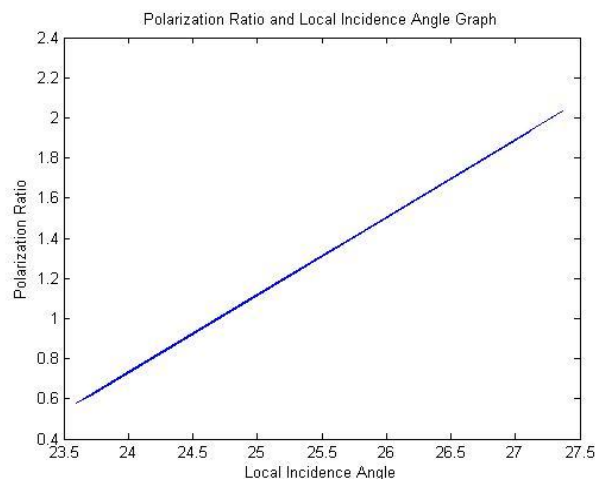
Pada data amplitudo, dilakukan proses FFT untuk mendapatkan *dominant wavelength* dari citra tersebut, dengan mencari rata-rata dari nilai FFT semua matriks. Dalam melakukan proses FFT, haruslah ditentukan nyquist agar mempermudah interpretasi hasil FFT dan mencari *dominant wavelength* menggunakan rumus *wave spectra* dan koordinat spectrum. Hasil dari perhitungan terhadap 2 matriks dimensi tiga yang ada adalah: L#1 sebesar 559,0170 meter dan L#2 sebesar 883,8835 meter, diturunkan dari titik puncak setiap hasil FFT yang ditunjukkan pada Gambar 9 dan 10.

Grafik FFT untuk Matriks#1 dan Matriks#2 ditunjukkan secara berurutan di Gambar 11 dan 12. Setelah itu terjadi proses penurunan rumus untuk mendapatkan periode dari setiap *dominant wavelength* yang sudah didapatkan, dengan hasil sebagai berikut: Periode#1 56,5879 sekon, Periode#2 89,3609 sekon. Hasil penurunan rumus tersebut membuktikan bahwa gelombang dominan pada matriks#1 dan #2 masih masuk ke kategori *swell* atau *gravity waves* dimana mempunyai batas pada 30-300 sekon. Proses *Band-Pass Filter* dilakukan kepada data FFT dari setiap matriks untuk menyeleksi gelombang agar sesuai dengan kriteria *swell* atau *gravity waves* yang mempunyai periode antara 30-300 sekon, dimana apabila dikonversi untuk mendapatkan panjang gelombang didapatkan 294,768 meter sebagai batas bawah dan 2969,6275 meter sebagai batas atas. Batas ini selanjutnya akan di-inversikan menjadi koordinat piksel dari *wave*

spectra. Setelah terbentuk filter yang ditunjukkan oleh Gambar 13, dilakukan proses konvolusi atau perkalian antara satu elemen matriks dengan elemen matriks yang sama baris dan kolomnya untuk menyeleksi nilai yang masuk dalam kriteria filter yang sudah dibentuk di atas. Hasil konvolusi atau *band-pass filter* itu kemudian dibalik (inversi) dalam rumus IFFT (*Inverse Fast Fourier Transform*) agar menjadi gelombang laut nyata lagi. Salah satu contoh dari hasil *Band-Pass Filter* yang sudah mengalami proses inversi atau disebut IFFT (*Inverse Fast Fourier Transform*) ditunjukkan oleh Gambar 14.

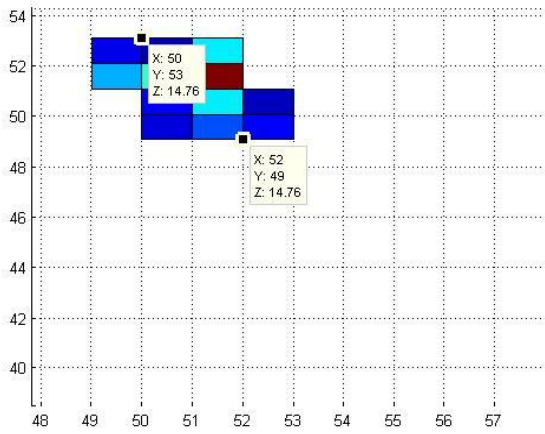


Gambar 7. Contoh Isi Matriks 3 Dimensi.

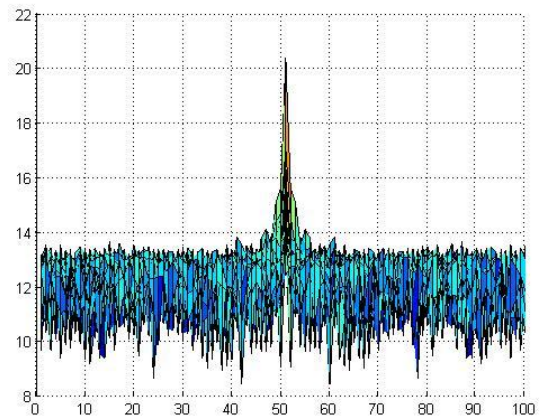


Gambar 8. Grafik *Local Incidence Angle*.

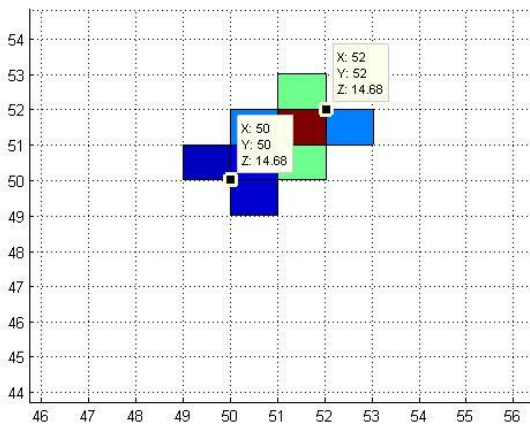
Estimasi Tinggi Gelombang ...



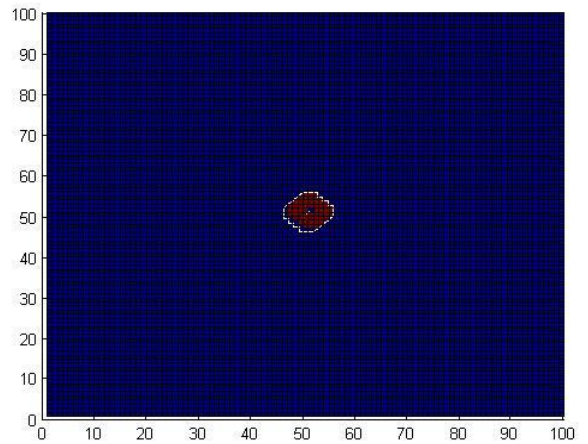
Gambar 9. Titik Puncak Hasil FFT Matriks#1.



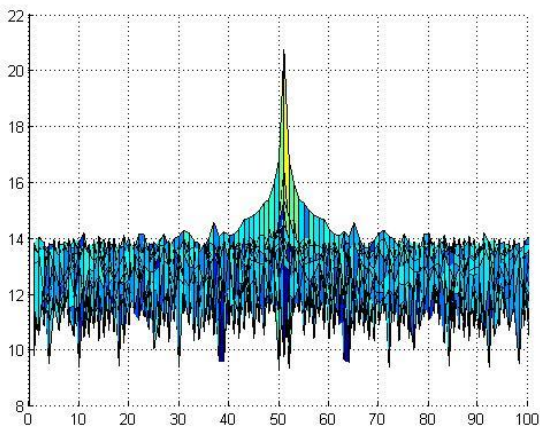
Gambar 12. Hasil FFT Matriks#2.



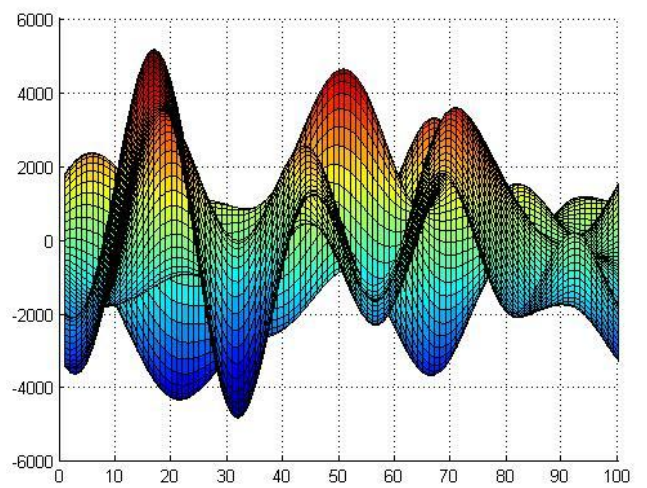
Gambar 10. Titik Puncak Hasil FFT Matriks#2.



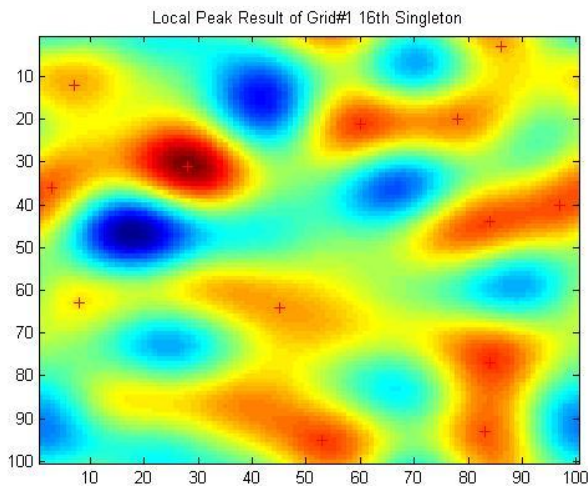
Gambar 13. Filter.



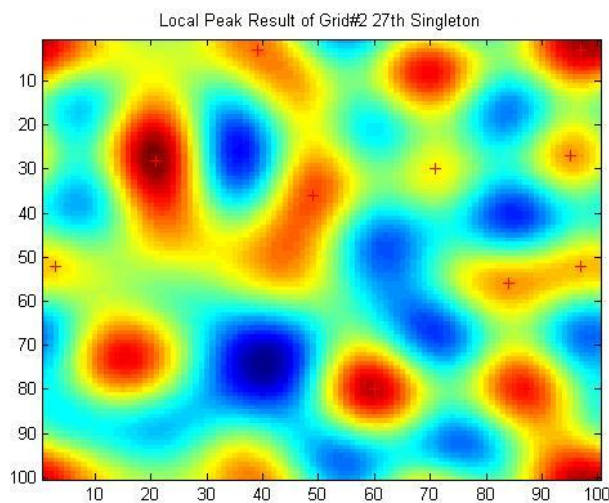
Gambar 11. Hasil FFT Matriks#1.



Gambar 14. Hasil FFT Matriks#1 Hasil IFFT dari Singleton#1 pada Matriks#1.

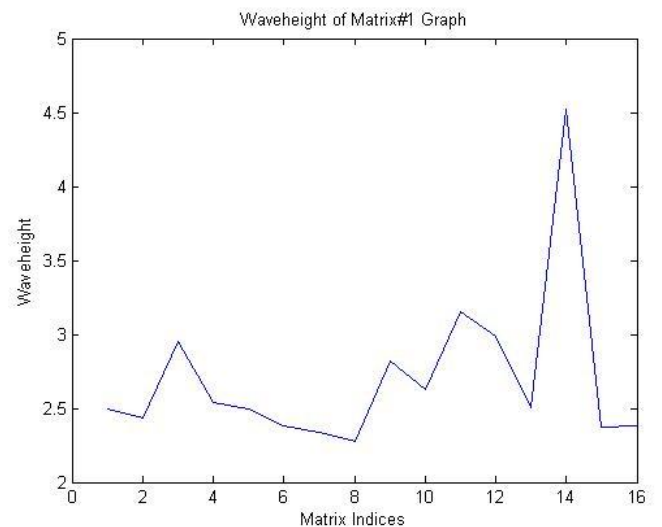


Gambar 15. Local Maxima pada Matriks#1.

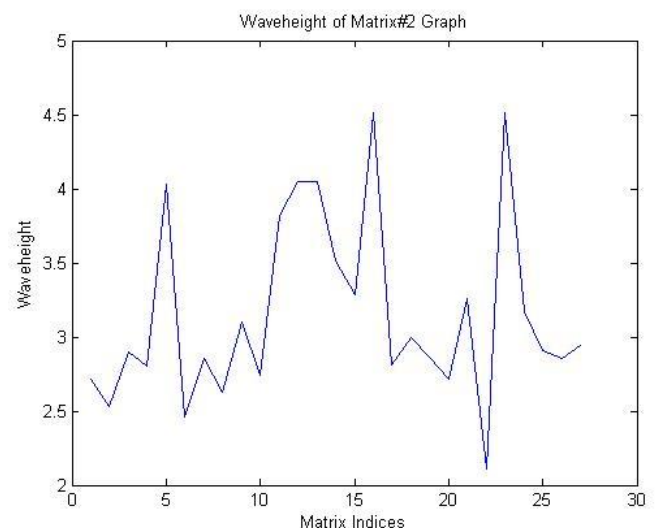


Gambar 16. Local Maxima pada Matriks#2.

Search ditampilkan pada Gambar 15 dan 16. Setelah menemukan *Local Slopes* dari proses di atas, hal yang selanjutnya dilakukan adalah menghitung *Significant Waveheight* dari setiap bagian dari Matriks. Tinggi gelombang dari setiap bagian matriks akan ditampilkan pada Tabel 3 dan ditunjukkan pada Gambar 17 dan 18. Grafik rerata dari *Significant Waveheight* ini juga ditampilkan pada Gambar 19, dimana ditambah dengan distribusi Gamma, ditandai dengan kurva berwarna merah yang berarti persebaran dari tinggi gelombang pada citra satelit ini tidak seragam (normal) tetapi random.



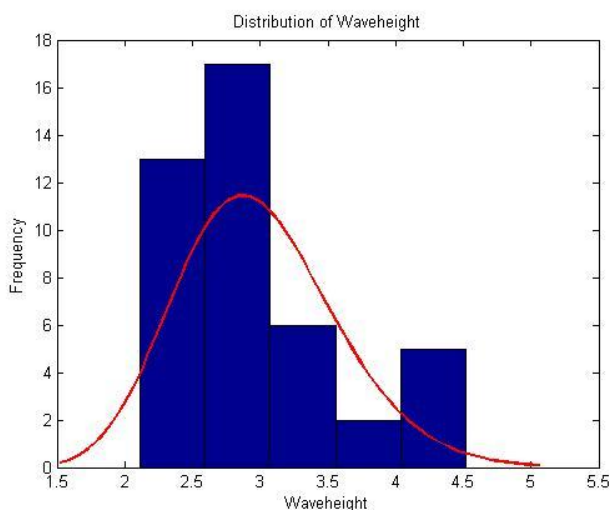
Gambar 17. Grafik Waveheight Matriks#1.



Gambar 18. Grafik Waveheight Matriks#2.

Local Maximum Search and Significant Waveheight Computation

Hasil proses *Band-Pass Filter* terhadap Matriks#1 dan Matriks#2 akan diproses lebih lanjut dalam *script* dari Natan yang bertujuan untuk menemukan lokasi piksel yang mempunyai nilai maksimal di setiap bagian dari matriks (*Local Maxima Search*). Kegunaan dari pencarian ini adalah untuk menghitung kemiringan rata-rata dari setiap matriks dari perhitungan *Local Incidence Angle* dengan menggunakan piksel dari pencarian tersebut sebagai sumber. Salah satu hasil *Local Maxima*



GambarR19.Hasil FFT Matriks#2 Grafik rerata *Waveheight* dan Kurva Distribusi Gamma.

Tabel 3. *Waveheight* dari Setiap Indeks Matriks.

Matrix Index	<i>Waveheight</i> (m)
14	4,522
32	4,517
39	4,512
28	4,050
29	4,046
21	4,034
27	3,818
30	3,515
31	3,284
37	3,262
40	3,170
11	3,158
25	3,103
34	2,991
12	2,988
3	2,950
43	2,940
41	2,904
19	2,898
35	2,864
23	2,855
42	2,855
9	2,820
33	2,812
20	2,799

26	2,739
17	2,715
36	2,711
10	2,628
24	2,628
4	2,535
18	2,532
13	2,500
5	2,499
1	2,499
22	2,465
2	2,435
6	2,384
16	2,379
15	2,375
7	2,336
8	2,276
38	2,109

Dari Tabel 3 di atas bisa dihitung $H_{1/3}$ atau *Significant Waveheight*, dimana menghasilkan nilai 3,713 meter dengan rerata dari semua indeks matriks sebesar 2,986 meter.

PENUTUP

Citra satelit ALOS-PALSAR dapat digunakan sebagai salah satu metode dalam melakukan estimasi energi gelombang laut, dibuktikan dengan beberapa penelitian sebelumnya dan diperkuat dengan penelitian ini, dengan menghitung tinggi gelombang setelah itu melakukan komputasi berdasarkan beberapa rumus. Dari penelitian ini didapatkan bahwa pada tanggal 12 Mei 2009 di perairan sekitar Pulau Poteran, Madura mempunyai panjang gelombang dominan sebesar 559,017 dan 883,883 m dan periode sebesar 56,579 dan 89,360 sekon yang memenuhi syarat menjadi sebuah *swell* yaitu diantara 30-300 sekon. Nilai-nilai di atas bisa dikatakan benar, karena sesuai dengan teori gelombang laut, gelombang akan menjadi semakin besar apabila mendekati pantai karena faktor batimetri dan beberapa faktor lain, selain itu mendapatkan nilai *dominant wavelength* yang

memenuhi syarat menjadi *swell* juga menjadi sebuah nilai kebenaran dalam penelitian ini. Dapat disimpulkan bahwa di Pulau Poteran, sebagai salah satu pulau terpencil di Madura mempunyai beberapa lokasi potensial untuk dibangkitkan energi gelombang air lautnya, tentu melalui penelitian-penelitian lanjutan yang komprehensif.

United Nations Economic and Social Council., 2012. The Naming Procedures of Indonesia's Island. *Tenth United Nations Conference on the Standardization of Geographical Names*. New York.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Direktorat Pendidikan Tinggi, Departemen Pendidikan dan Kebudayaan Republik Indonesia dan DAAD Jerman atas dukungan finansial dalam skema SIDI (*Sustainable Island Development Initiative*).

DAFTAR PUSTAKA

- Arinaga, R. A., & Cheung, K. F., 2012. Atlas of Global Wave Energy from 10 years of reanalysis and hindcast data. *Renewable Energy*, 49-64.
- Kementrian Kelautan dan Perikanan Republik Indonesia., 28 Agustus 2013. *Keanekaragaman Hayati Laut Indonesia Terbesar di Dunia*. Retrieved from KKP: <http://kkp.go.id>
- Lewis, A. S.-M., 2011. Ocean Energy. In R. P.-M. O. Edenhofer, *IPCC Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation* (hh. 497-534). Cambridge: Cambridge University Press.
- Mukhtasor., 2014. *Recent Notes on Economic Scales Ocean-Based Power Plants*. Jakarta, DKI Jakarta, Indonesia.
- Sugimoto, M., Shiroto, N., & Ouchi, K., 2011. Estimation of Ocean Wave Height using Polarization Ratio of Synthetic Aperture Radar Data. *Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), 2011 IEEE International* (hh. 2821-2824). Vancouver: IEEE.
- Thomas, M., 1982. The Estimation of Waveheight from Digitally Processed SAR Imagery. *International Journal of Remote Sensing*, 3(1), hh. 63-68.