

Analisis Pengelompokan Tinggi Muka Laut di Sekitar Pulau Jawa Berbasis Data Multi Satelit Altimetri

Sartono Marpaung, Teguh Prayogo, dan Rossi Hamzah

Abstrak

Kajian tentang dinamika laut diperlukan untuk menunjang kajian ilmiah dan aplikasi praktis di bidang kelautan, terutama untuk negara kepulauan seperti Indonesia. Terkait dengan hal tersebut dilakukan pengelompokan tinggi muka laut berdasarkan polanya. Dalam pengelompokan tersebut digunakan analisis cluster metode Ward. Hasil analisis data tinggi muka laut dari multi satelit altimetri menunjukkan jumlah cluster di bagian selatan lebih banyak dibandingkan dengan utara. Hal tersebut menunjukkan bahwa pola tinggi muka laut secara spasial maupun temporal lebih variatif di bagian selatan dibandingkan di bagian utara. Di bagian selatan, cluster yang posisinya semakin jauh dari daratan variasi pola tinggi muka laut semakin tinggi. Di bagian utara pola tinggi muka laut memiliki variasi yang rendah. Variasi pola tinggi muka laut secara spasial maupun temporal di selatan dipengaruhi oleh dinamika skala global dari Samudera Hindia, sedangkan di bagian utara dipengaruhi oleh dinamika lokal di Laut Jawa. Urutan pembentukan cluster di bagian selatan didasarkan pada lintang sedangkan di bagian utara didasarkan pada bujur. Hal tersebut disebabkan oleh arah faktor yang memengaruhi tinggi muka laut. Pada bagian selatan, faktor yang dominan memengaruhi dari selatan yaitu sirkulasi di Samudera Hindia sedangkan di bagian utara faktor yang berpengaruh berasal dari barat atau timur.

Kata kunci: *Tinggi muka laut, analisis cluster, altimetri, dan pola.*

Abstract

For country such as Indonesia, study of ocean dynamics is needed to support the scientific study and practical application in the field of marine. Related to it is done clustering of sea surface height based on the pattern. For clustering it used cluster analysis by Ward's method. The results of analysis sea surface height from multi satellite altimetry show the number of clusters in the south more than the north. It shows that the pattern of sea surface height by spatially and temporally more varied in the south than in the north. In the south, the cluster whose position is farther away from land, variations of sea surface pattern is higher. In the northern part, the pattern of sea surface height variations is low. Variations of sea surface height patterns by spatially and temporally in southern influenced by the dynamics of the global scale of the Indian Ocean, whereas in the northern part is influenced by local dynamics in the Java Sea. Sequence of cluster formation in the southern part based on the latitude, whereas in the northern part based on the longitude. It is due to the direction of factors that affect to sea surface height. In the southern part, which is the dominant factor that affects from northern, circulation in the Indian Ocean, whereas in the northern of the factors that influence comes from the western or eastern.

Keywords: *sea surface height, cluster analysis, altimetry, and pattern*

1. Pendahuluan

Topografi permukaan laut bersifat dinamis, selalu mengalami variasi secara temporal maupun spasial. Untuk negara kepulauan seperti Indonesia, kebutuhan informasi tentang dinamika laut sangat diperlukan untuk menunjang kajian ilmiah maupun aplikasi praktis yang berkaitan dengan kelautan (Handoko, 2004). Perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi pada tahun 1970-an menunjukkan hasil yang signifikan dengan diluncurkannya satelit altimetri. Kehadiran satelit altimetri berbasis teknologi penginderaan jauh mempunyai peranan besar untuk menjawab kebutuhan tersebut. Misi utama dari satelit altimetri untuk mengamati topografi dan dinamika yang terjadi di permukaan laut secara spasial maupun temporal. Satelit altimetri memantau dinamika laut secara kontinu dengan cakupan global. Dengan dioperasikannya beberapa satelit altimetri pada saat ini kebutuhan data untuk penelitian dinamika laut semakin terpenuhi. Untuk mengoptimalkan cakupan secara spasial dan temporal, penyedia data dari tim *Archiving, Validation and Interpretation of Satellite Oceanographic Data (AVISO)* menggabungkan data dari beberapa satelit menjadi data multi satelit altimetri.

Pada umumnya data dari multi satelit altimetri digunakan untuk mengkaji fenomena dan dinamika yang terjadi di permukaan laut. Pada masa kini pemanfaatan data multi satelit sebagian besar digunakan untuk memantau peningkatan tinggi muka laut akibat pemanasan global/perubahan iklim (Destin, 2008) dan mengkaji fenomena *upwelling* dan *downwelling*. Kenaikan tinggi muka laut merupakan dampak dari perubahan iklim (Susandi *et al.*, 2005). Topografi permukaan laut di Laut Jawa menurun pada saat terjadi arus musim timur dan mengalami peningkatan saat terjadi arus musim barat (Sri, 2004). Kenaikan tinggi muka laut di perairan selatan Pulau Jawa rata-rata sebesar 0.97 mm/tahun dan di perairan utara sebesar 2.46 mm/tahun (Wuriatmo *et al.*, 2012). Dinamika *upwelling* dan *downwelling* lebih kuat di laut bagian selatan

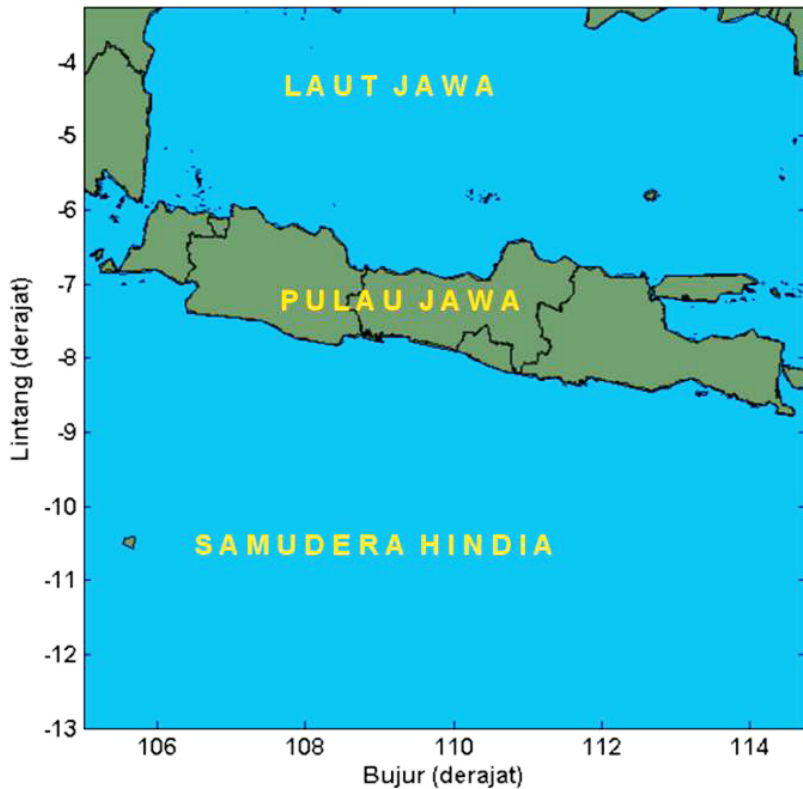
Pulau Jawa dibandingkan di bagian utara (Marpaung dan Harsanugraha, 2014). Hasil riset yang telah dipaparkan merupakan hasil penelitian terkait penggunaan data multi satelit altimetri.

Dalam rangka meningkatkan kualitas kajian ilmiah tentang dinamika laut, dengan mengoptimalkan pemanfaatan data multi satelit altimetri dilakukan pengelompokan tinggi muka laut. Tujuannya untuk membuat klasifikasi tinggi muka laut menjadi beberapa kelompok/*cluster* sehingga diperoleh peta *cluster* secara spasial dan pola dari masing-masing *cluster*.

2. Metode Penelitian

2.1 Data dan Lokasi Penelitian

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data tinggi muka laut dari multi satelit altimetri. Multi satelit altimetri terdiri dari tiga satelit yaitu Satelit Saral, Satelit Jason-2 dan Satelit Cryosat-2. Satelit altimetri menggunakan instrumen radar altimeter yang dapat menembus awan dengan tingkat ketelitian pengukuran 2 cm. Data tersebut telah dikoreksi dan divalidasi dengan data observasi permukaan laut oleh tim *AVISO* sebelum dipublikasikan untuk digunakan oleh komunitas internasional. Resolusi spasial data $0.25^\circ \times 0.25^\circ$ dan resolusi temporal harian. Periode data yang digunakan dari tahun 2011 sampai 2013. Sumber data <ftp://aviso.oceanobs.com>. Wilayah penelitian adalah kawasan laut Indonesia bagian selatan yaitu laut sekitar Pulau Jawa dan sebagian Samudera Hindia dengan batas zonal dari 105° sampai 114.75° bujur timur dan batas meridional dari 3.25° sampai 13° lintang selatan. Wilayah kajian yang dipilih merupakan representasi dari laut tertutup yaitu Laut Jawa dan laut terbuka yaitu Samudera Hindia. Cakupan wilayah penelitian seperti ditampilkan pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Wilayah penelitian laut sekitar Pulau Jawa dan Samudera Hindia

2.2 Metode Analisis Data

Diagram alir penelitian yang digunakan dalam melakukan pengelompokan tinggi muka laut dari satelit altimetri disajikan dalam Gambar 2.2. Analisis *cluster* berfungsi untuk mengelompokkan

sekumpulan pola dari sekelompok data ke dalam beberapa *cluster* atau kelompok berdasarkan kesamaan pola atau bentuk deret waktu secara temporal (Birant dan Kut, 2006). Dalam penelitian ini pengelompokan tinggi muka laut didasarkan pada pola pertahun. Dalam satu cluster terdapat pola tinggi muka laut dengan variasi yang sama atau hampir sama (antargrid memiliki homogenitas internal yang tinggi) dan antar *cluster* polanya berbeda atau memiliki variasi yang tinggi (antar *cluster* memiliki heterogenitas eksternal yang tinggi).

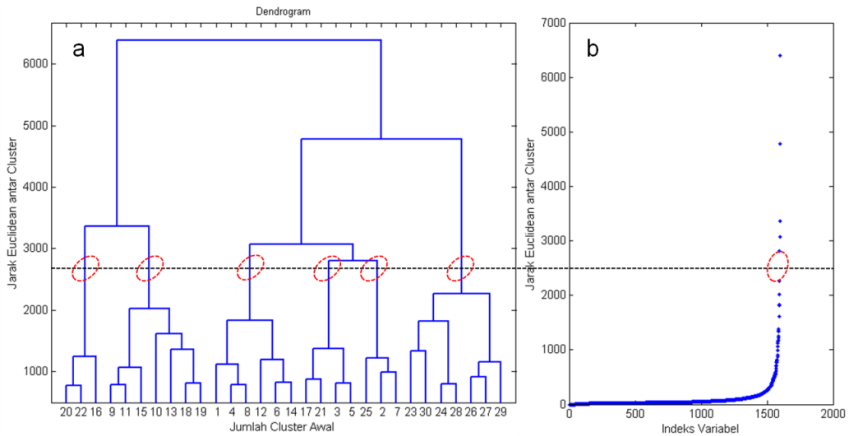
Dalam penelitian ini digunakan analisis *cluster* hirarki dengan metode Ward yaitu pengelompokan berdasarkan jarak *euclidean* antar *cluster* (Murtagh dan Legendre, 2014). Jarak *euclidean* adalah jarak antara dua titik dalam bidang dimensi dua atau ruang berdimensi tiga/lebih. Jumlah *cluster* ditentukan menggunakan dendrogram dengan menghitung jarak *euclidean* antar *cluster*. Saat terjadi lompatan jarak *euclidean* antar *cluster* menandakan bahwa variasi pola antar *cluster* sudah tinggi (heterogenitas tinggi). Pada posisi lompatan tersebut menyatakan jumlah *cluster* yang akan dibuat. Dengan menarik garis dari posisi lompatan dan menghubungkannya dengan dendrogram, jumlah perpotongan garis dengan dendrogram merupakan jumlah *cluster*. Analisis selanjutnya ditentukan pola atau bentuk deret waktu pertahun dari setiap *cluster*.



Gambar 2.2 Diagram alir penelitian

3. Hasil dan Pembahasan

Untuk menentukan jumlah *cluster* yang akan dibuat digunakan dendrogram dengan menghitung jarak *euclidean* antar *cluster* seperti ditampilkan pada Gambar 3.1.

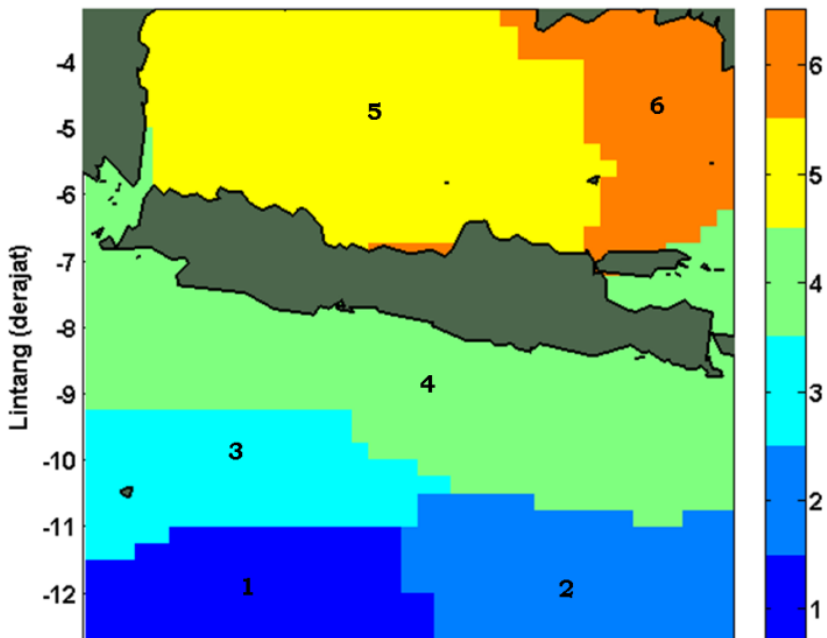


Gambar 3.1 Jumlah *cluster* untuk tahun pengamatan 2011

Gambar 3.1 menunjukkan cara menentukan jumlah *cluster* yang akan dibuat untuk tinggi muka laut tahun 2011. Pada saat awal tinggi muka laut selama tahun 2011 dikelompokkan menjadi tiga puluh *cluster* (Gambar 3-1 bagian a). Setelah dilakukan perhitungan jarak *euclidean* antar *cluster*, jumlah *cluster* ditentukan dengan patokan posisi lompatan jarak *euclidean* antar *cluster*. Dengan menarik garis (putus-putus) saat terjadi lompatan jarak euclidean (bulatan merah pada Gambar 3.1. bagian b), perpotongan antara garis (putus-putus) dengan dendrogram (Gambar 3.1 bagian a) merupakan jumlah *cluster* yang akan dibuat (bulatan warna merah). Hasil perpotongan yang terjadi menunjukkan bahwa jumlah

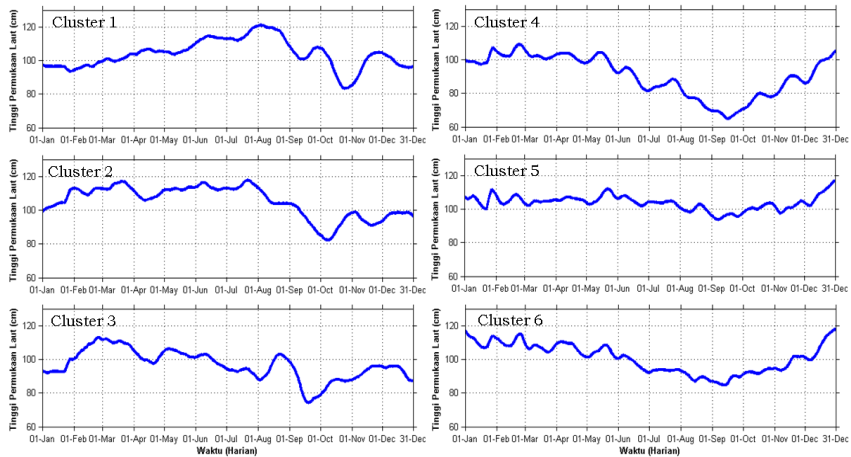
cluster tinggi muka laut untuk tahun 2011 adalah enam *cluster*. Selanjutnya dilakukan analisis data untuk membuat peta *cluster* tinggi muka laut seperti ditampilkan dalam Gambar 3.2.

Gambar 3.2 menampilkan peta *cluster* tinggi muka laut tahun 2011 terdiri dari enam *cluster*, *cluster* 1 sampai 4 terdapat di laut bagian selatan, *cluster* 5 dan 6 di sebelah utara (Laut Jawa). Ditinjau dari posisi *cluster* yang terbentuk, *cluster* 1 sampai 4 tersusun berdasarkan lintang sedangkan *cluster* 5 dan 6 tersusun berdasarkan bujur. Untuk mengetahui ciri khas dari setiap *cluster*, ditentukan pola temporal atau bentuk deret waktu tinggi muka laut masing-masing *cluster* seperti ditampilkan dalam Gambar 3.3.



Gambar 3.2 Peta spasial *Cluster* tinggi muka laut tahun 2011

Pemanfaatan Data Penginderaan Jauh untuk Wilayah Pesisir dan Laut



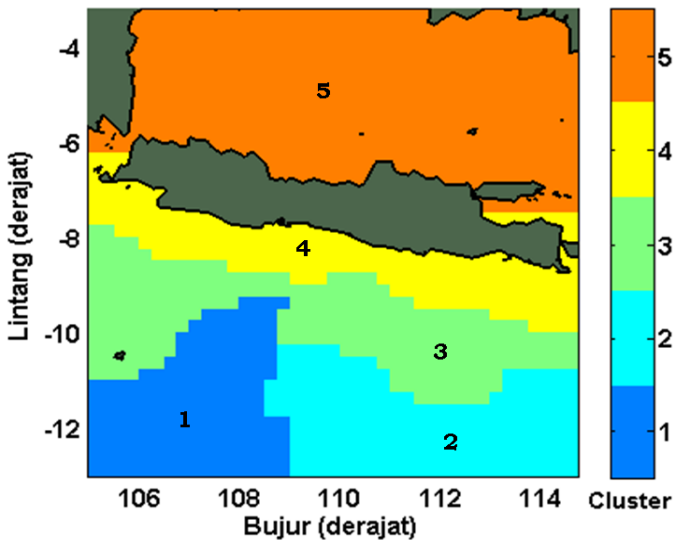
Gambar 3.3 Pola tinggi muka laut masing-masing *cluster* tahun 2011

Dalam Gambar 3.3. ditampilkan pola tinggi muka laut selama tahun 2011 yang terdapat dalam *cluster* 1 sampai *cluster* 6. Dari pola yang ditampilkan tampak perbedaan atau variasi temporal pola antar *cluster*. Pada *cluster* 1 pola tinggi muka laut dari Januari sampai akhir Juli mengalami peningkatan, awal Agustus mulai menurun sampai terendah pada akhir Oktober, selanjutnya mengalami peningkatan dan relatif stabil pada akhir tahun. Cluster 2 menunjukkan pola tinggi muka laut mengalami peningkatan dari Januari sampai Maret, April sampai Juli relatif stabil, Agustus mulai menurun sampai awal Oktober (terendah), kemudian mengalami peningkatan. Pola dalam cluster 3 menunjukkan tinggi muka laut naik pada awal tahun, selanjutnya terjadi sedikit penurunan sampai Juli, meningkat pada bulan Agustus dan menurun pada bulan September, selanjutnya mengalami kenaikan dan akhir tahun menurun. Pola tinggi muka laut dalam *cluster* 4, dari Januari sampai Mei cenderung stabil, mulai mengalami penurunan dari Juni sampai September, Oktober sampai akhir tahun mengalami peningkatan. *Cluster* 5 mempunyai bentuk deret waktu yang relatif stabil dari Januari sampai November dan meningkat pada

bulan Desember. Cluster 6 menampilkan pola dari Januari sampai September terjadi penurunan, selanjutnya mengalami peningkatan sampai akhir tahun.

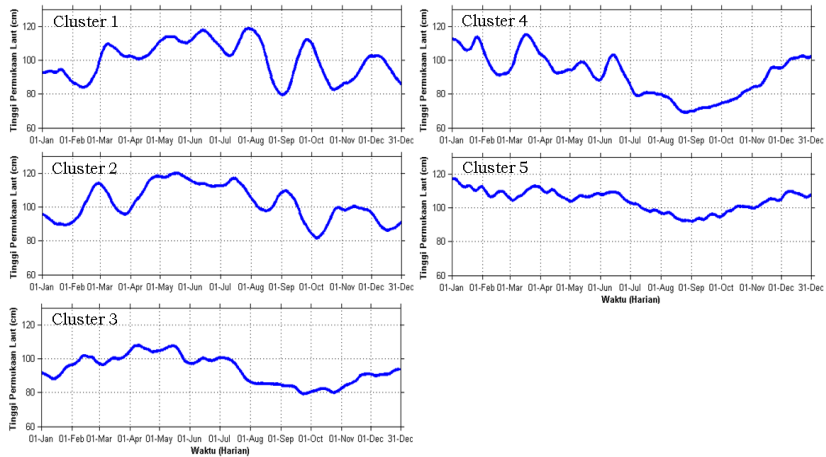
Untuk pengelompokan tinggi muka laut tahun 2012, penentuan jumlah *cluster* caranya sama seperti ditampilkan dalam Gambar 3.1. Berdasarkan hasil penerapan dendrogram jumlah *cluster* untuk tahun 2012 sebanyak lima *cluster*, ditampilkan dalam Gambar 3.4.

Peta spasial *cluster* tinggi muka laut tahun 2012 sebanyak lima *cluster*, *cluster* 1 sampai 4 di laut sebelah selatan Pulau Jawa dan *cluster* 5 di laut sebelah utara Pulau Jawa. Jumlah *cluster* pada tahun 2012 lebih sedikit dibandingkan tahun tahun 2011, tetapi pada laut bagian selatan jumlah cluster tetap 4 cluster, yang berubah di bagian utara dari dua *cluster* tahun 2011 menjadi satu *cluster* tahun 2012. Pola temporal tinggi muka laut yang terdapat pada setiap *cluster* ditampilkan pada Gambar 3.5.



Gambar 3.4 Peta spasial *cluster* tinggi muka laut tahun 2012

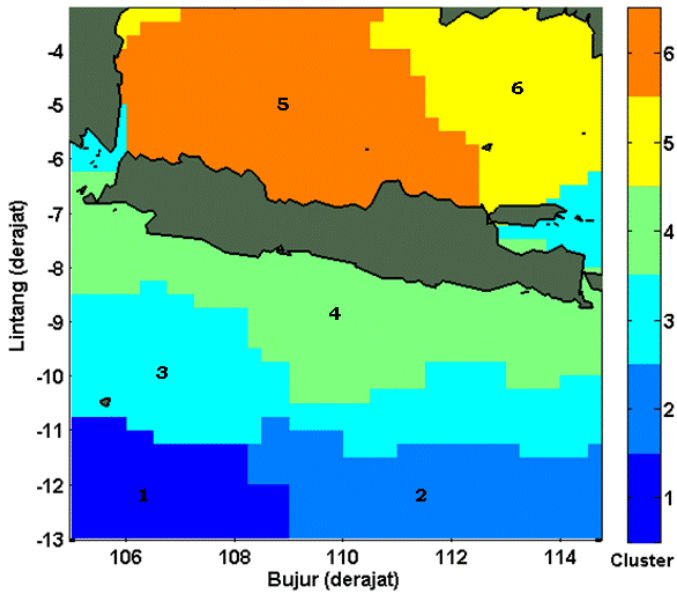
Pemanfaatan Data Penginderaan Jauh untuk Wilayah Pesisir dan Laut



Gambar 3.5 Pola tinggi muka laut masing-masing *cluster* tahun 2012

Pola tinggi muka laut di bagian selatan yang terdapat di *cluster* 1, *cluster* 2 dan *cluster* 4 menunjukkan pola dengan variasi temporal yang tinggi sepanjang tahun, terjadi perubahan tinggi muka laut secara tak beraturan. Sedangkan pada *cluster* 3 dan *cluster* 5 variasi yang terjadi lebih rendah, perubahan tinggi muka laut relatif kecil. Bagian utara yang terdiri dari satu *cluster* (*cluster* 5) menunjukkan bahwa secara spasial pola temporal tinggi muka laut selama tahun 2012 memiliki pola yang sama atau hampir sama pada bagian utara. Berdasarkan analisis data jumlah *cluster* tinggi muka laut untuk tahun 2013 sebanyak enam *cluster*, ditampilkan pada Gambar 3.6.

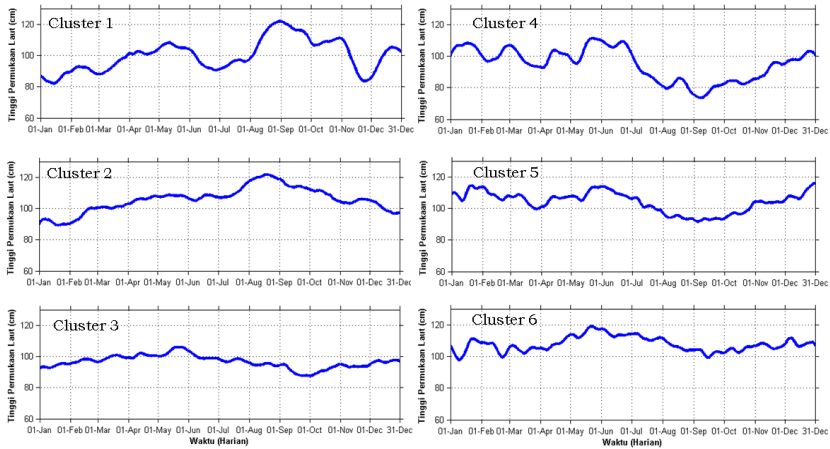
Analisis Pengelompokan Tinggi Muka Laut di Sekitar Pulau Jawa
Berdasarkan Data Multi Satelit Altimetri



Gambar 3.6 Peta spasial *cluster* tinggi muka laut tahun 2013

Hasil menunjukkan bahwa tinggi muka laut dibagian selatan terdiri dari 4 *cluster* (*cluster* 1 sampai 4) dan di bagian utara 2 *cluster* (*cluster* 5 dan 6). Dari hasil analisis data diperoleh bentuk deret waktu/pola tinggi muka laut secara temporal yang terdapat pada masing-masing *cluster*, seperti ditampilkan dalam Gambar 3.7.

Pemanfaatan Data Penginderaan Jauh untuk Wilayah Pesisir dan Laut



Gambar 3.7 Pola tinggi muka laut masing-masing *cluster* tahun 2013

Pola tinggi muka laut pada cluster 1 dan 4 mempunyai pola dengan perubahan atau variasi yang tinggi sepanjang tahun. Pola dalam *cluster 2* menunjukkan tinggi muka laut mengalami peningkatan dari Januari sampai Agustus dan dari September sampai Desember mengalami penurunan. Pada *cluster 3* pola tinggi muka laut relatif stabil, tidak mengalami perubahan yang signifikan sepanjang tahun. *Cluster 5* dan 6 yang terdapat di bagian utara menunjukkan bahwa tinggi muka laut mengalami variasi yang relatif lebih rendah dibandingkan dengan bagian selatan.

Berdasarkan hasil analisis *cluster*, tinggi muka laut di sebelah selatan Pulau Jawa dari tahun 2011 sampai 2013 jumlah *cluster* yang terbentuk tetap empat cluster dengan batas *cluster* yang sedikit berbeda antar tahun pengamatan. Perbedaan batas *cluster* tersebut akibat dinamika tinggi muka laut secara temporal. Pada wilayah laut bagian selatan, semakin jauh dari daratan ke arah laut lepas variasi pola tinggi muka laut semakin besar. Untuk wilayah laut bagian utara (Laut Jawa) jumlah *cluster* yang terbentuk

tahun 2011 sebanyak dua *cluster*, tahun 2012 terdapat hanya satu *cluster* dan tahun 2013 dua *cluster*. Hasil ini menunjukkan bahwa pola tinggi muka laut secara spasial maupun temporal memiliki variasi yang rendah atau pola hampir sama. Hasil analisis *cluster* secara menyeluruh menunjukkan bahwa jumlah *cluster* dan variasi pola di bagian selatan lebih banyak dibandingkan bagian utara. Hal tersebut menggambarkan dinamika/variabilitas tinggi muka laut secara spasial maupun temporal lebih besar di bagian selatan. Hal ini diakibatkan oleh pengaruh sirkulasi skala besar yang terjadi di Samudera Hindia, sedangkan di bagian utara sebagai laut tertutup cenderung stabil dan tidak dipengaruhi oleh dinamika dari samudera luas. Berdasarkan urutan pembentukan *cluster*, *cluster* di bagian selatan tersusun berdasarkan lintang sedangkan di bagian utara tersusun berdasarkan bujur. Hal ini menandakan bahwa variasi pola ditentukan oleh arah faktor arus laut yang mempengaruhi tinggi muka laut. Pada bagian selatan, arus laut yang kuat mempengaruhi berasal dari arah selatan yaitu sirkulasi di Samudera Hindia sedangkan di bagian utara/Laut Jawa arus laut yang mempengaruhi tinggi muka laut berasal dari barat atau timur sesuai dengan musim yang terjadi.

4. Kesimpulan

Jumlah *cluster* tinggi muka laut di bagian selatan lebih banyak dibandingkan di bagian utara. Pola tinggi muka laut secara spasial maupun temporal lebih variatif di bagian selatan dibandingkan bagian utara. Di bagian selatan, *cluster* yang posisinya semakin jauh dari daratan ke arah laut lepas variasi pola tinggi muka laut semakin tinggi. Pada bagian utara pola tinggi muka laut memiliki variasi yang rendah/pola hampir sama. Variasi tinggi muka laut secara spasial maupun temporal di bagian selatan dipengaruhi oleh dinamika skala global yang terjadi di Samudera Hindia, sedangkan di bagian utara lebih dominan dipengaruhi oleh dinamika skala lokal sekitar Laut Jawa. Urutan pembentukan *cluster* di bagian selatan

didasarkan pada lintang sedangkan di bagian utara didasarkan pada bujur. Hal tersebut disebabkan oleh arah faktor yang memengaruhi tinggi muka laut. Pada bagian selatan, faktor yang dominan memengaruhi dari selatan yaitu sirkulasi di Samudera Hindia sedangkan di bagian utara faktor yang berpengaruh berasal dari barat atau timur.

Ucapan Terima Kasih

Terima kasih kepada Bapak Dr. Muchlisin Arief dan Wawan K. Harsanugraha atas bimbingan dan arahan dalam melakukan penulisan makalah ini.

Daftar Pustaka

- Birant, D. dan Kut, A. 2006. *Cluster analysis for physical oceanographic data and oceanographic surveys in Turkish Seas*. Journal of Marine Research, 64/5: 651–668, Dokuz Eylul University, Turkey.
- Destin, L. 2008. *Analisis Sea Level Variability dari Data Satelit Altimetri Topex/Poseidon*. Tugas Akhir Program Studi Teknik Geomatika ITS, Surabaya.
- Handoko, E.Y. 2004. *Satelit Altimetri dan Aplikasinya dalam Bidang Kelautan*. Pertemuan Ilmiah Tahunan 1, Teknik Geodesi ITS, Surabaya.
- Marpaung, S. dan Harsanugraha, W.K. 2014. *Karakteristik Sebaran Anomali Tinggi Muka Laut di Perairan Bagian Utara dan Selatan Pulau Jawa*. Prosiding Seminar Nasional Penginderaan Jauh 2014, Bogor.

Analisis Pengelompokan Tinggi Muka Laut di Sekitar Pulau Jawa
Berbasis Data Multi Satelit Altimetri

- Murtagh, F. dan Legendre, P. 2014. *Ward's Hierarchical Agglomerative Method: Which Algorithms Implement Ward's Criterion?* Journal of Classification 31: 274–295, DOI: 10.1007/s00357-014-9161-z, Universite de Montreal, Canada.
- Sri, W. H. 2004. *Pola Arus Permukaan di Wilayah Perairan Indonesia dan Sekitarnya yang Diturunkan Berdasarkan data Satelit Altimetri Topex/Poseidon*. Tesis Program Pasca Sarjana, Institut Pertanian Bogor.
- Nurmaulia, S. L, Prijatna, K., Darmawan, D., dan Sarsito, D.A. 2005. *Studi Awal Perubahan Kedudukan Muka Laut (Sea Level Change) di Perairan Indonesia Berdasarkan Data Satelit Altimetri Topex (1992-2002)*, Jurusan Teknik Geodesi Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan-ITB, Bandung.
- Susandi, A., Herlianti, Tamamadin, dan Nurlela, 2008. *Dampak Perubahan Iklim Terhadap Ketinggian Muka Laut di Wilayah Banjarmasin*, Jurnal Ekonomi Lingkungan, Vol. 12 No. 2, Bogor.
- Wuriatmo, H., Koesuma, S., dan Yunianto, M. 2012. *Analisis Sea Level Rise dari Data Satelit Altimetri Topex/Poseidon, Jason-1 dan Jason-2 di Perairan Laut Jawa Periode 2000-2010*. Indonesian Journal of Applied Physics Vol. 2 No. 7: 62–72.
- Archiving, Validation and Interpretation of Satellite Oceanographic data (AVISO)*, 2014. ftp://aviso.oceanobs.com/sea_surface_height.
Diunduh tanggal 5 s/d. 9 Mei 2014.