

KAJIAN DINAMIKA PASANG SURUT PANTAI SELATAN PULAU JAWA DENGAN DATA ALTIMETRI

Bandi Sasmito

Departemen Teknik Geodesi Fakultas Teknik Universitas Diponegoro
Jl. Prof Soedarto, SH, Tembalang, Semarang-75123 Telp./Faks: (024) 736834,
e-mail: bandy.geo96@gmail.com

(Diterima 08 Mei 2020, Disetujui 11 Juli 2020)

ABSTRAK

Samudra Hindia atau Samudra India adalah kumpulan air terbesar ketiga di dunia, meliputi sekitar 20% permukaan air Bumi, pantai selatan Pulau Jawa termasuk didalamnya. Perairan ini tentunya sangat penting dan berpengaruh langsung maupun tidak langsung terhadap Pulau Jawa termasuk pasang surut airnya. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui dinamika pasang surut dari waktu ke waktu menggunakan multitemporal satelit Altimetri dengan data *Sea Level Anomaly* (SLA) dari Satelit Topex/Poseidon dan data Satelit Jason-1 tahun 2002-2011. Pembentukan komponen pasang surut dari SLA dibandingkan dengan Data pengamatan pasut langsung dengan sensor yang didapat dari IOC (*Intergovernmental Oceanographic Commission*). Lokasi pengamatan dipilih di perairan Cilacap, Sadeng, dan Prigi. Kajian dinamika dan perbandingan komponen ditampilkan dengan grafik-grafik. Kesimpulan hasil penelitian menunjukkan perairan selatan Pulau Jawa tidak signifikan berubah ketinggiannya dan tipe pasut dari ketiga lokasi pengamatan menunjukkan tipe yang sejenis, yaitu campuran condong harian ganda.

Kata kunci: *Pasang Surut, Samudera Hindia, Satelit Altimetri, Sea Level Anomali (SLA), Intergovernmental Oceanographic Commission (IOC)*

ABSTRACT

Indian Ocean or Indian Ocean is the third largest collection of water in the world, covering about 20% of the surface of the Earth's water, the southern coast of Java including its prehistoric islands. These waters are of course very important and directly or indirectly affect Java, including its tides. The purpose of this study is to determine the dynamics of the tides from time to time using multitemporal Altimetry satellites with Sea Level Anomaly (SLA) data from Topex / Poseidon Satellite and Jason-1 Satellite data from 2002-2011. The formation of tidal components from the SLA is compared with the data of direct tidal observations with sensors obtained from the IOC (Intergovernmental Oceanographic Commission). The observation locations were chosen in the waters of Cilacap, Sadeng, and Prigi. Study of dynamics and component comparisons displayed with graphs. The conclusion of the study showed that the southern waters of Java Island did not significantly change in height and the tidal types of the three observation sites showed a similar type, namely a mixture of double daily inclines.

Keywords: *Tidal, Indian Ocean, Altimetry Satellite, Sea Level Anomaly (SLA), Intergovernmental Oceanographic Commission (IOC)*

1. PENDAHULUAN

Samudra Hindia atau Samudra India adalah kumpulan air terbesar ketiga di dunia, meliputi sekitar 20% permukaan air Bumi. Samudera Hindia telah dikenal dengan istilah tersebut sejak setidaknya 1515, Nama latin *Oceanus Orientalis Indicus* ("Samudra Hindia Timur"), sebelumnya laut ini dikenal sebagai Samudra Timur, sebuah istilah yang masih digunakan selama pertengahan abad ke-18), sebagai lawan dari Samudera Barat (Atlantik) sebelum Pasifik dikenal. (Harper Douglas, 2011) Sebaliknya, penjelajah

Tiongkok di Samudera Hindia, selama abad ke-15, menyebutnya Samudera Barat. (Hui, 2010)

Indonesia memiliki garis pantai terpanjang nomor dua di dunia (setelah Kanada), dengan panjang 99.093 kilometer, telah bertambah dari sebelumnya sekitar 91.000 kilometer didalamnya termasuk didalamnya pulau jawa yang berbatasan langsung dibagian selatan dengan Samudera Hindia (ANTARA, 2015). Salah satu definisi garis pantai adalah garis imajiner yang menunjukkan pertemuan antara daratan dan perairan, secara periodik permukaan air (laut) dinamis tetapi definisi suatu tinggi muka air tertentu yang tetap harus

dipilih untuk menjelaskan posisi garis pantai (Poerbandono and Djunarsjah, 2005).

Pasang surut adalah suatu peristiwa dinamika lapisan atas air laut secara berkala yang disebabkan oleh gaya-gravitasi dari benda-benda langit terutama oleh bulan sebagai benda langit terdekat dari bumi lalu matahari, dan lainnya. Pengaruh benda astronomi lain dapat tidak berpengaruh karena jarak lebih jauh atau ukurannya yang kecil (DRONKERS, 1975).

Perhitungan pasang surut dilakukan dengan data amplitudo dan beda-fase dari untuk membentuk komponen pembangkit pasang surut oleh (DRONKERS, 1975) dan banyak lagi peneliti setelahnya seperti (Pruszek, 1980; Mofield and Larsen, 1984; Noye *et al.*, 1999; Sindhu and Unnikrishnan, 2013). Metode harmonik sering digunakan dalam menganalisa komponen pasang surut, berdasarkan bahwa pasang surut yang terjadi adalah superposisi atau penjumlahan dari berbagai komponennya. Menganalisa pasang surut membutuhkan data yang lengkap dan akurat dalam pengamatan yang cukup lama untuk bisa menentukan dengan baik tipe pasang surut suatu perairan. Perolehan data di suatu wilayah perairan menjadi sangat penting. Pengamatan pasut di lepas pantai tidak mungkin dilakukan dengan sensor tradisional. Pemasangan alat dan transmisi data sulit dilakukan begitu juga untuk *maintenance* dari peralatan tersebut.

Perkembangan teknologi satelit sangat pesat, termasuk sistem satelit altimetri. Satelit altimetri merupakan satelit yang didesain khusus untuk mempelajari dinamika lautan. Salah satu misi dari satelit ini adalah dengan diluncurkannya satelit altimetri Topex/Poseidon pada tahun 1992 dan dilanjutkan dengan peluncuran satelit altimetri Jason-1 pada tahun 2001 yang salah satu obyek penelitiannya adalah untuk mengamati topografi muka laut (Egbert, Bennett and Foreman, 1994; Lee-Lueng Fu, 1994; Nerem *et al.*, 2010)

Pada penelitian ini, metode Kuadrat terkecil (Mishra, 2005; Matte, Jay and Zaron, 2013) digunakan untuk menentukan komponen-komponen pasang surut di wilayah perairan selatan Jawa dan untuk menjawab, berapa besar nilai komponen pasang surut tiap titik pengamatan di wilayah perairan selatan Pulau Jawa selama tahun 1992-2011 serta adakah perbedaan tipe pasang surut tiap titik pengamatan dari hasil analisa komponen-komponen pasang surut di wilayah perairan selatan Pulau Jawa selama tahun 1992-2011.

2. DATA DAN METODOLOGI

Penentuan konstanta pasut pada studi ini menggunakan pendekatan analisis harmonik dengan metode kuadrat terkecil. Penentuan konstanta pasut laut pada studi ini menggunakan data SLA (Sea Level

Anomaly) dari satelit Topex/Poseidon dan Jason-1, dimana koreksi pasut laut yang biasanya diperoleh dari model pasut global yang tidak melibatkan. Sebelum dilakukan proses analisis harmonik terlebih dahulu dilakukan penentuan titik normal dimana titik-titik pengamatan satelit dengan metode interpolasi. Satelit-altimetri tidak hanya bermanfaat untuk pemantauan perubahan MSL global, tetapi juga akan bermanfaat untuk beberapa aplikasi geodetik dan oseanografi seperti yang diberikan (Seeber, 2009)

Lokasi penelitian terletak di wilayah selatan Pulau Jawa yang memiliki karakteristik laut dalam di wilayah Indonesia. Tabel 1 dan Gambar 1 berikut menunjukkan titik-titik pengamatan yang dijadikan objek penelitian di pantai selatan Jawa.

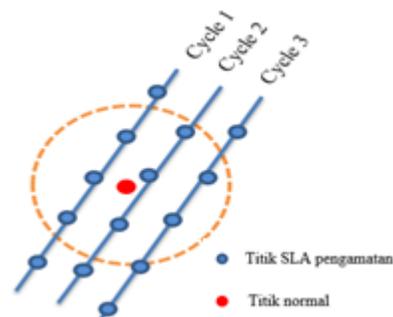
Tabel 1. Posisi titik pengamatan

No Titik	Lintang	Bujur	Keterangan Lokasi
1	9°43'16,15" LS	107°40'7,27" BT	Perairan Cilacap
2	9°46'37,36" LS	110°35'8,53" BT	Perairan Sadeng
3	9°43'15,12" LS	113°24'57,89" BT	Perairan Prigi



Gambar 1. Lokasi titik pengamatan

Orbit satelit altimetri yang berputar mengelilingi permukaan bumi memiliki variasi posisi-posisi tiap groundtrack yaitu ± 1 km yang menyebabkan satelit tidak bisa mengulang ke satu titik yang sudah pernah dilalui sebelumnya.



Gambar 2. Deskripsi interpolasi *Inverse Distance Weight*

Konsistensi pada satu titik pengamatan dan juga untuk memudahkan proses pengolahan data maka perlu

ditentukan satu titik normal yang digunakan sebagai titik yang tetap. penelitian ini menggunakan metode IDW (*Inverse Distance Weight*) dalam menentukan interpolasi titik normal. IDW merupakan metode interpolasi dengan menggunakan bobot jarak titik normal terhadap titik pengamatan atau nilai SLA disekitarnya. Gambar 1 berikut memperlihatkan interpolasi kuadrat untuk memperoleh SLA di atas titik normal. (Bartier and Keller, 1996; Mueller *et al.*, 2004; Lu and Wong, 2008)

Pada metoda ini hitungan dilakukan dengan menggunakan persamaan harmonik pasang surut seperti pada persamaan berikut:

$$h(t_i) = S_o + \sum_j^m a_j \cos(2\pi f t_i - \theta_j) \quad (1)$$

Dimana,

- S_o = tinggi rata-rata permukaan air di atas datum yang digunakan
- t_i = waktu ke- i
- h = tinggi permukaan air pada waktu ke- i
- m = jumlah komponen yang digunakan
- a_j = amplitudo komponen ke- j
- $2\pi f_j$ = frekuensi komponen ke- j (ω_j)
- θ_j = keterlambatan fase komponen ke- j

Besar amplitudo dan beda-fase setiap komponen pasang surut laut dapat dihitung dengan menggunakan analisis harmonik pasang surut laut. Analisis harmonik dapat dilakukan dengan dua metode, yaitu metode admiralty dan metode kuadrat terkecil. Metode admiralty kini jarang digunakan karena rumit dan mempunyai keterbatasan pada jumlah dan ketelitian variabel yang dihasilkan dibandingkan dengan metode kuadrat terkecil.

Metode kuadrat terkecil didasarkan pada penentuan tinggi muka air model yang memberikan kuadrat kesalahan minimum terhadap tinggi muka air hasil pengamatan. Metode kuadrat terkecil juga melibatkan kualitas setiap data yang dipakai dalam proses penghitungan sehingga kontribusi setiap data pada proses penghitungan yang dilakukan sesuai dengan kualitas masing-masing data. Hal ini membuat ketelitian hasil analisis harmonik dengan menggunakan metode kuadrat terkecil lebih tinggi dibandingkan dengan menggunakan metode admiralty.

Data SLA Satelit Altimetri yang digunakan dalam analisis harmonik dalam penelitian ini disertai dengan verifikasi atau validasi dari SLA pengukuran lain. Data Satelit Altimetri yang memiliki lokasi penelitian di tengah laut dan periode pengulangan pengambilan data yang cukup lama menjadikan sulitnya menemukan metode verifikasi data. Dalam penelitian ini metode yang digunakan untuk verifikasi yaitu membandingkan grafik SLA Satelit Altimetri dengan grafik pengamatan pasang surut stasiun IOC. IOC adalah satu-satunya

badan PBB khusus dalam ilmu pengetahuan dan jasa laut. IOC berfokus dan bekerjasama lembaga yang berkaitan dengan ilmu pengetahuan laut, pengamatan dan pertukaran data, dan layanan seperti sistem peringatan tsunami global. Salah satu situs yang dikelola IOC yaitu <http://www.ioc-sealevelmonitoring.org/> yang menyediakan data monitoring permukaan laut secara online dimana data monitoring didapat dari stasiun pengamatan yang tersebar di beberapa tempat. (Mutere, 1991)

Pada titik pengamatan Titik 1 terdapat dua lokasi stasiun terdekat yaitu stasiun Pangandaran dan Cilacap. Jarak dari Titik 1 ke stasiun Pangandaran yaitu $\pm 235,5$ km, sedangkan jarak dari Titik 1 ke stasiun Cilacap yaitu $\pm 258,94$ km. Namun pada penelitian ini untuk verifikasi Titik 1 menggunakan stasiun Cilacap karena dari kualitas dan ketersediaan data stasiun Cilacap lebih baik dari stasiun Pangandaran. Stasiun Pangandaran memiliki ketersediaan data dari tahun 2010 sedangkan stasiun Cilacap memiliki ketersediaan data dari tahun 2008. Stasiun Cilacap memiliki QC data sehingga data dari stasiun Cilacap memiliki control kualitas.

Titik pengamatan Titik 2 menggunakan stasiun Sadeng sebagai verifikasi data. Jarak dari Titik 2 ke stasiun Sadeng sejauh $\pm 173,48$ km dengan ketersediaan data dari tahun 2010. Sedangkan Titik 3 menggunakan stasiun Prigi sebagai verifikasi data dengan jarak antara keduanya sejauh $\pm 243,22$ km.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil *Sea Level Anomali* (SLA) yang dilakukan interpolasi dengan metode IDW seperti pada Tabel 2. Tidak semua data tiap cycle tersedia, ada beberapa cycle yang datanya kosong atau bernilai NaN. Data ini kosong karena kesalahan pada saat Satelit Altimetri melakukan proses perekaman data. Hal ini mengakibatkan data hasil interpolasi pada titik normal tidak memiliki nilai atau bernilai NaN.

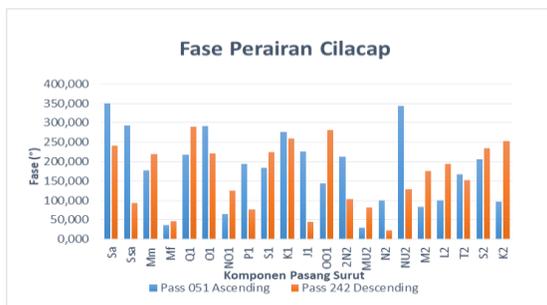
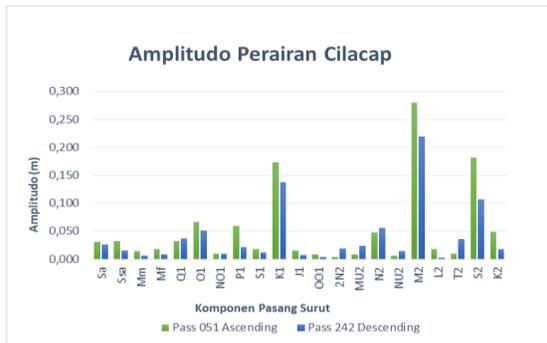
Tabel 2. Data SLA yang dipakai

Lokasi	Pass	JumlahCycle
Cilacap	051	710
	242	710
Sadeng	127	710
	064	710
Prigi	203	710
	140	710

Data SLA tabel diatas menunjukkan *Pass* berapa saja yang diambil. *Pass* saat satelit ascending dan

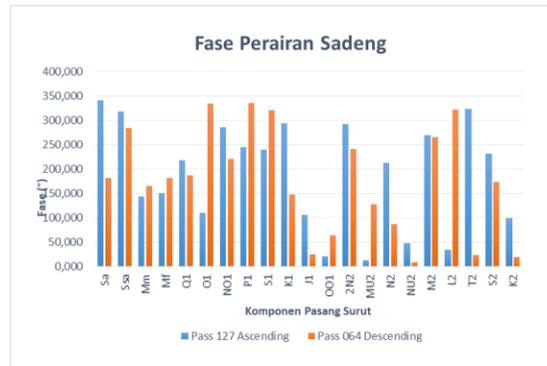
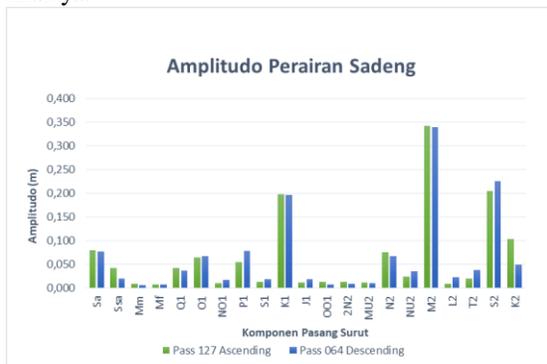
disending datanya digunakan, contoh pada lokasi perairan Cilacap pada pass 051 asending dan 242 disending. Jumlah cycle data SLA direncanakan diambil sebanyak 710 cycle, walaupun didalamnya ada beberapa cycle yang tidak ada nilainya atau NaN.

Data SLA diatas dilakukan proses analisa harmonik pasang surut dengan hasil yang ditunjukkan pada grafik-grafik.



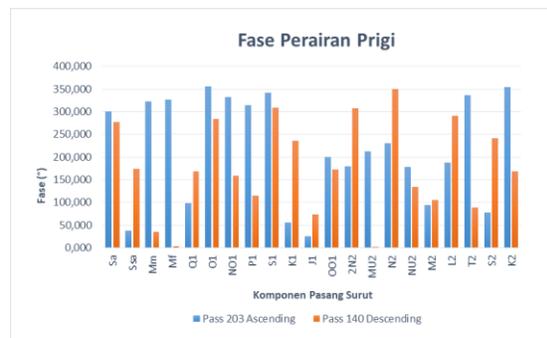
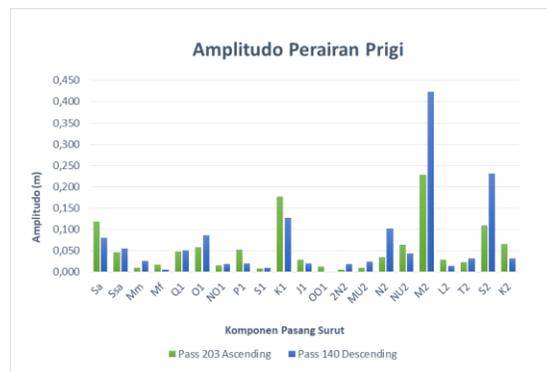
Gambar 3. Komponen Amplitudo dan Fase Perairan Cilacap pada Pass Ascending dan Descending

Grafik diatas menunjukkan bahwa terjadi variasi hasil dari Pass asending dan disending pada perairan Cilacap baik pada komponen amplitudo maupun fase. Variasi pada amplitudo tidak signifikan, sedangkan nilai Fase tiap komponen terlihat bervariasi perbedaan nilainya.



Gambar 4. Komponen Amplitudo dan Fase Perairan Sadeng pada Pass Ascending dan Descending

Grafik diatas menunjukkan bahwa terjadi variasi yang sangat kecil dari Pass asending dan disending pada perairan Cilacap pada komponen amplitudo, sedangkan pada komponen fase terjadi variasi hasil antara data asending maupun disending.



Gambar 5. Komponen Amplitudo dan Fase Perairan Prigi pada Pass Ascending dan Descending

Grafik diatas menunjukkan bahwa umumnya terjadi variasi yang kecil dari Pass asending dan disending pada perairan Prigi pada komponen amplitudo hanya pada komponen M2 yang memiliki variasi tinggi, sedangkan pada komponen fase terjadi variasi hasil antara data asending maupun disending.

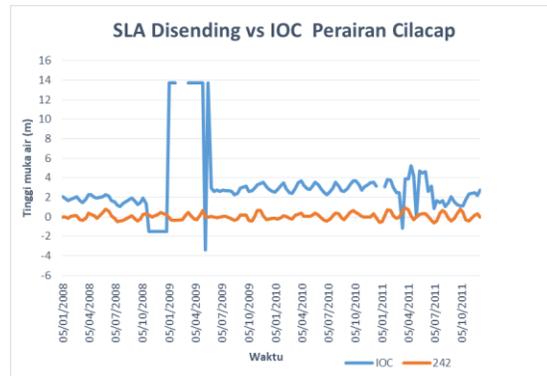
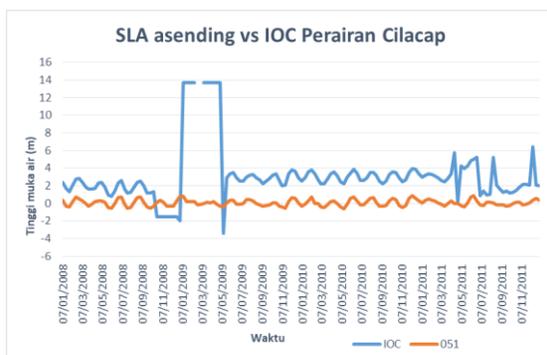
Analisis selanjutnya adalah membandingkan jenis pasang surut dari ketiga perairan selatan Jawa. Jenis pasut ditentukan dengan menghitung bilangan Formzahl. Hasil dari perhitungan dan penentuan jenis pasut ada pada Tabel 3.

Tabel 3. Tipe Pasut dengan bilangan Formzahl

Lokasi	Pass	Formzahl	Tipe Pasut
Perairan Cilacap	051	0,518	Campuran condong harian ganda
	242	0,577	Campuran condong harian ganda
Perairan Sadeng	127	0,479	Campuran condong harian ganda
	064	0,464	Campuran condong harian ganda
Perairan Prigi	203	0,697	Campuran condong harian ganda
	140	0,325	Campuran condong harian ganda

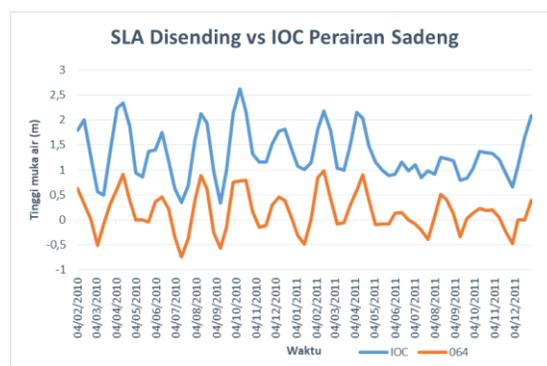
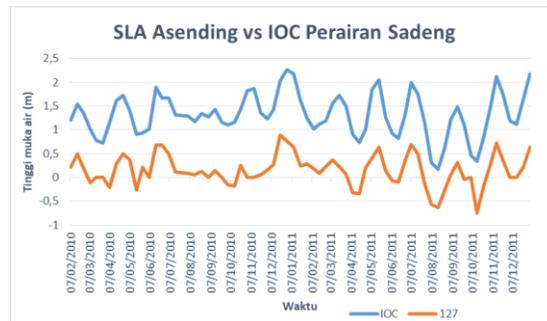
Hasil yang didapat dari analisa tipe pasut dengan menghitung bilangan Forzahl, perhitungan ini menggunakan data komponen Pasut baik asending maupun disending menghasilkan tipe pasut yang sama yaitu “Campuran Condong Harian Ganda” atau *Mixed Prevailing Semi Diurnal* dari ketiga perairan. Hal ini menunjukkan secara umum tipe pasang surut di wilayah pantai selatan Jawa adalah bertipe Sama.

Analisis berikutnya adalah membandingkan/verifikasi bentuk data ketinggian air dari SLA dengan pengamatan pasut dengan sensor. Pengamatan pasut diwakili oleh data pasang surut dari *Intergovernmental Oceanographic Commission (IOC)*. Analisis disajikan dengan grafik-grafik dibawah ini.



Gambar 6. Perbandingan data SLA dengan data IOC perairan Cilacap

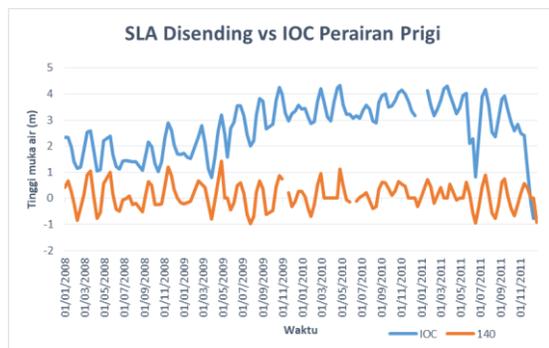
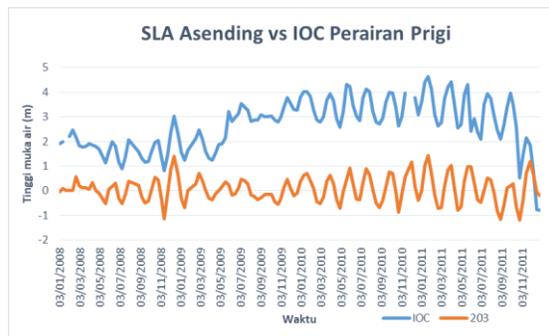
Grafik gambar 6 menunjukkan perbandingan data SLA dan IOC. Profil kedua data seirama jika SLA naik IOC naik, tetapi ada perbedaan pada nilai ketinggian. Pada data antara *cycle* 05/01/2009 sampai dengan *cycle* 05/06/2009 terdapat anomali pada data IOC yang melonjak tinggi, anomali ini tidak wajar. Anomali ini dikarenakan adanya kesalahan sensor perekaman pada alat perekam pasang surut. Perbedaan rata-rata tinggi muka air dikarenakan perbedaan lokasi, SLA lokasi ada dilokasi lepas pantai sedangkan sensor pasu IOC ada di pantai.



Gambar 7. Perbandingan data SLA dengan data IOC perairan Sadeng

Grafik gambar 7 menunjukkan perbandingan data SLA dan IOC. Profil kedua data seirama jika SLA naik

IOC naik, tetapi ada perbedaan pada nilai ketinggian.. Perbedaan rata-rata tinggi muka air dikarenakan perbedaan lokasi, SLA lokasi ada dilokasi lepas pantai sedangkan sensor pasu IOC ada di pantai.



Gambar 8. Perbandingan data SLA dengan data IOC perairan Prigi

Grafik gambar 7 menunjukkan perbandingan data SLA dan IOC. Profil kedua data seirama jika SLA naik IOC naik, tetapi ada perbedaan pada nilai ketinggian.. Perbedaan rata-rata tinggi muka air dikarenakan perbedaan lokasi, SLA lokasi ada dilokasi lepas pantai sedangkan sensor pasu IOC ada di pantai.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Dinamika pasang surut pantai selatan pulau jawa dengan data altimetri dengan beberapa analisa menghasilkan data yang baik sehingga penggunaan SLA altimetri dapat digunakan untuk menggantikan data sensor pasang surut konvensional. Pemakaian SLA Altimetri memberikan banyak keuntungan terutama pada penyediaan data yang gratis.

Data SLA didapat dua seri yang mana berdasar dari *ground track* satelit dengan pass ascending dan pass disending yang membentuk persilangan di satu lokasi. Kelebihan ini dapat digunakan untuk mendapatkan ukuran lebih sehingga dapat digunakan untuk perbandingan data. Komponen pasang surut pada amplitudo dan fase dapat di analisa variasi datanya dengan pass ascending dan disending

Dari analisa didapatkan tipe pasut dengan menghitung bilangan Forzahl, perhitungan ini menggunakan data komponen Pasut baik ascending maupun disending menghasilkan tipe pasut yang sama yaitu “Campuran Condong Harian Ganda” atau *Mixed Prevailing Semi Diurnal* dari ketiga perairan. Hal ini menunjukkan secara umum tipe pasang surut di wilayah pantai selatan jawa adalah bertipe sama.

Profil kedua data seirama jika SLA naik IOC naik, tetapi ada perbedaan pada nilai ketinggian. Perbedaan rata-rata tinggi muka air dikarenakan perbedaan lokasi, SLA lokasi ada dilokasi lepas pantai sedangkan sensor pasu IOC ada di pantai.

UCAPAN TERIMA KASIH

Dengan segala kerendahan hati, penulis mengucapkan terima kasih kepada civitas akademika Departemen Teknik Geodesi Fakultas Teknik Universitas Diponegoro Semarang terutama rekan rekan yang yang tergabung dalam Laboratorium Survei Hidrografi.

DAFTAR PUSTAKA

ANTARA (2015) ‘Garis pantai Indonesia terpanjang kedua di dunia - ANTARA News’, *ANTARANEWS*. Available at: <https://www.antaraneWS.com/berita/487732/garis-pantai-indonesia-terpanjang-kedua-di-dunia> (Accessed: 15 October 2019).

Bartier, P. M. and Keller, C. P. (1996) ‘Multivariate interpolation to incorporate thematic surface data using inverse distance weighting (IDW)’, *Computers and Geosciences*. doi: 10.1016/0098-3004(96)00021-0.

DRONKERS, J. J. (1975) ‘Tidal Theory and Computations’, in CHOW, V. E. N. T. E. B. T.-A. in H. (ed.). Elsevier, pp. 145–230. doi: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-021810-3.50007-2>.

Egbert, G. D., Bennett, A. F. and Foreman, M. G. G. (1994) ‘TOPEX/POSEIDON tides estimated using a global inverse model’, *Journal of Geophysical Research*. doi: 10.1029/94jc01894.

Harper Douglas (2011) ‘*Indian Ocean*’. Online Etymology Dictionary. Retrieved 18 January 2011.

Hui (2010) ‘Huangming zuxun and Zheng He’s Voyages to the Western Oceans’, *Journal of Chinese Studies*, 51, pp. 67–85.

Lee-Lueng Fu (1994) ‘TOPEX/POSEIDON mission overview’, *Journal of Geophysical Research*. doi: 10.1029/94jc01761.

Lu, G. Y. and Wong, D. W. (2008) 'An adaptive inverse-distance weighting spatial interpolation technique', *Computers and Geosciences*. doi: 10.1016/j.cageo.2007.07.010.

Matte, P., Jay, D. A. and Zaron, E. D. (2013) 'Adaptation of classical tidal harmonic analysis to nonstationary tides, with application to river tides', *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*. doi: 10.1175/JTECH-D-12-00016.1.

Mishra, S. (2005) 'Hybrid least-square adaptive bacterial foraging strategy for harmonic estimation', *IEE Proceedings: Generation, Transmission and Distribution*. doi: 10.1049/ip-gtd:20049016.

Mofield, H. O. and Larsen, L. H. (1984) 'Tides and tidal currents of the inland waters of Western Washington.'

Mueller, T. G. *et al.* (2004) 'Map Quality for Ordinary Kriging and Inverse Distance Weighted Interpolation', *Soil Science Society of America Journal*. doi: 10.2136/sssaj2004.2042.

Mutere, J. (1991) *A Review of the Impacts of Sea Level Rise to Coral Assemblages of the Kenyan Reefs, IOC/SAREC/KMFRI Workshop on Causes and Consequences of Sea Level Changes on the Western Indian Ocean and Island, Mombasa, Kenya, Volume 4.*

Nerem, R. S. *et al.* (2010) 'Estimating Mean Sea Level Change from the TOPEX and Jason Altimeter Missions', *Marine Geodesy*. doi: 10.1080/01490419.2010.491031.

Noye, J. *et al.* (1999) 'Modelling Tides in the Persian Gulf using Dynamic Nesting', in *Modelling Coastal Sea Processes*. doi: 10.1142/9789814350730_0003.

Poerbandono, D. and Djunarsjah, E. (2005) *Survei Hidrografi*. Refika Aditama. Bandung.

Pruszek, Z. (1980) 'Currents circulation in the waters of Admiralty Bay (region of Arctowski Station on King George Island)', *Pol Polar Res*.

Seeber, G. (2009) *Satellite Geodesy, Satellite Geodesy*. doi: 10.1515/9783110200089.

Sindhu, B. and Unnikrishnan, A. S. (2013) 'Characteristics of Tides in the Bay of Bengal', *Marine Geodesy*. doi: 10.1080/01490419.2013.781088.