

Pengamatan Pasang Surut Air Laut Sesaat Menggunakan GPS Metode Kinematik

Ahmad Fawaiz Safi', Danar Guruh Pratomo, dan Mokhamad Nur Cahyadi

Departemen Teknik Geomatika, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

e-mail: safi13@mhs.geodesy.its.ac.id, guruh@geodesy.its.ac.id

Abstrak—Salah satu komponen penting dalam survei batimetri adalah pasang surut air laut (pasut) yang digunakan untuk koreksi kedalaman hasil pemeruman. Kedudukan pasut diidentifikasi melalui pengamatan pasut menggunakan palem pasut di pinggir pantai atau dermaga/pelabuhan. Perkembangan teknologi memungkinkan penggunaan GPS (*Global Positioning System*) pada survei hidrografi. Selain posisi horizontal, GPS dapat digunakan untuk menentukan posisi vertikal. Pasut yang didapatkan dengan GPS merupakan tinggi muka air terhadap ellipsoid. Sehingga perlu adanya koreksi agar pasut GPS dapat digunakan untuk koreksi kedalaman. Dalam penelitian pengamatan pasut menggunakan GPS metode kinematik, pengamatan pasut GPS dilakukan selama survei batimetri berlangsung. *Post Processed Kinematic* (PPK) digunakan untuk mendapatkan nilai tinggi muka air laut yang diamati menggunakan GPS. Tinggi muka air laut yang didapatkan kemudian direduksi menggunakan nilai undulasi (N). Model geoid yang dipakai adalah *Earth Gravitational Model* EGM2008. Selain data pasut GPS dan model geoid, data lain yang digunakan adalah pengamatan pasut sesaat yang diamati selama survei batimetri. Data pengamatan pasut digunakan untuk perbandingan grafik pasang surut yang dihasilkan oleh pasut GPS. Hasil penelitian berupa grafik pasang surut GPS yang telah terkoreksi dengan geoid dan grafik pasang surut pengamatan. Dari kedua grafik tersebut kemudian dibandingkan nilai tinggi yang dihasilkan. Pada dasarnya tinggi yang didapatkan menggunakan GPS merupakan tinggi muka air laut yang mengacu pada bidang ellipsoid. Sehingga, nilai tingginya akan sangat berbeda dengan nilai tinggi pengamatan tinggi muka air laut secara manual. Tetapi grafik yang dihasilkan akan memiliki pola yang sama. Kuantitas data yang dihasilkan juga sangat berbeda, data pasut GPS akan memiliki jumlah data yang lebih banyak dari pasut pengamatan.

Kata kunci—GPS Kinematik, Pasang Surut Air Laut, Pasut GPS, Survei Batimetri

I. PENDAHULUAN

PASANG surut air laut (pasut) adalah suatu fenomena alam yaitu naik-turunnya permukaan air laut secara periodik sebagai akibat dari adanya gaya gravitasi benda-benda langit terutama bulan dan matahari. Pengaruh benda astronomi lainnya dapat diabaikan karena jarak dan ukurannya yang relatif lebih kecil daripada bulan dan matahari. Faktor non astronomi yang mempengaruhi pasut terutama di perairan semi tertutup seperti teluk adalah bentuk garis pantai dan topografi dasar perairan [1].

Pengamatan pasut pada umumnya dilakukan di pinggir pantai atau dermaga/pelabuhan dengan menggunakan palem

pasut atau peralatan *tide gauge* lainnya. Karakteristik pasut yang diamati di tepi pantai atau dermaga/pelabuhan umumnya hanya valid untuk kawasan dengan radius tertentu dari titik pengamatan. Di luar kawasan tersebut, seperti di lepas pantai, karakteristik pasut biasanya ditentukan secara tidak langsung, yaitu dengan melakukan prediksi menggunakan *cotidal chart* [2].

Pengamatan pasut dilakukan setiap kali melakukan pemeruman. Kadang-kadang daerah pemeruman dan titik pengamatan pasut tidak saling berdekatan atau pemeruman berada di lepas pantai. Padahal karakteristik pasang surut laut dapat berbeda antar satu daerah dengan daerah lainnya [3]. Sehingga ada kemungkinan data pasut tersebut tidak valid jika digunakan untuk koreksi pemeruman. Untuk menjawab permasalahan tersebut, penggunaan *Global Positioning System* (GPS) untuk pengamatan pasut dapat menjadi solusinya. GPS dapat digunakan untuk penentuan posisi dengan ketelitian mencapai millimeter.

Dalam penelitian yang dilakukan oleh Dodd (2010) [4], dinyatakan bahwa kebanyakan bidang ellipsoid digunakan untuk mendefinisikan datum horizontal. Dengan adanya akurasi tinggi GPS, sekarang bidang ellipsoid mulai digunakan untuk mendefinisikan datum vertikal. Data yang didapat dari survei darat dan laut dapat berhubungan dengan bidang referensi vertikal yang sama. Meskipun referensi ellipsoid mudah untuk didapatkan, tetapi itu bukan permukaan fisik seperti yang didefinisikan dari gravitasi (datum geodetik) atau muka air laut rata-rata/MSL (datum pasut). Oleh karena itu, untuk keperluan analisis dan pembuatan peta laut, nilai ketinggian yang diperoleh GPS harus diterjemahkan terhadap datum geodetik ataupun datum pasut. Nilai tinggi hasil konversi dari ellipsoid ke geodetik atau pasut biasanya dilakukan melalui pemodelan [4].

Penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk membuktikan bahwa pengamatan pasang surut air laut untuk keperluan survei bathimetri dapat dilakukan menggunakan pengamatan GPS secara kinematik di kapal, sehingga untuk keperluan praktis seperti koreksi kedalaman tidak memerlukan pengamatan secara langsung menggunakan palem pasut. Untuk dapat membuktikan itu maka diperlukan data pembanding berupa data pengamatan pasut menggunakan palem pasut atau *tide gauge* lainnya. Dengan adanya data pembanding tersebut diharapkan dapat mengetahui selisih antara data GPS dengan pengamatan palem pasut/*tide gauge*, sehingga dari perbandingan tersebut dapat ditarik kesimpulan

terkait hasil pengamatan pasut menggunakan GPS kinematik di kapal.

II. METODOLOGI PENELITIAN

A. Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian penelitian ini berada di Pelabuhan Perikanan Sendang Biru, Kab. Malang, Provinsi Jawa Timur pada tanggal 11-12 Mei 2017. Secara geografis letak lokasi penelitian berada pada $8^{\circ}25'46'' - 8^{\circ}26'27''$ LS dan $112^{\circ}40'48'' - 112^{\circ}41'22''$ BT.



Gambar 1. Lokasi Pelabuhan Perikanan Sendang Biru

Pengamatan pasut GPS menggunakan dua *receiver* GPS tipe geodetik dual frekuensi, dimana satu *receiver* ditempatkan didarat sebagai titik referensi dan satu berada di kapal sebagai *rover*. Stasiun referensi berada di pinggir dermaga perikanan dekat dengan stasiun pasang surut. Dalam pengamatan GPS, *receiver* stasiun referensi menggunakan interval data pengamatan sebesar 5 detik dan *receiver* kapal menggunakan interval data pengamatan sebesar 10 detik.

B. Data dan Peralatan

Terdapat dua jenis data yang digunakan dalam penelitian ini, yaitu data primer dan data sekunder. Data primer dalam penelitian ini adalah data pengamatan pasang surut air laut sesaat dan data pengamatan GPS kinematik di kapal. Sedangkan data sekundernya yaitu nilai undulasi yang didapatkan dari model geoid global dan data navigasi serta orbit yang digunakan untuk koreksi perhitungan data pengamatan GPS.

Peralatan dalam penelitian penelitian ini meliputi perangkat keras dan perangkat lunak. Perangkat keras yang digunakan diantaranya adalah GPS geodetik tipe Topcon Hyper Pro, digunakan untuk pengamatan GPS metode kinematik di kapal. Dalam pengamatan GPS terdiri dari *base* dan *rover*, agar dalam pengolahan data GPS dapat dilakukan secara diferensial. Selain menggunakan GPS, dalam pengamatan pasut juga menggunakan palem pasut yang dipasang di pinggir dermaga. Palembang pasut digunakan untuk pengamatan pasut secara langsung.

Perangkat lunak yang dipakai terdiri dari perangkat lunak pengolahan data dan perangkat lunak penyajian hasil

pengolahan data. Dalam pengolahan data, perangkat lunak yang digunakan adalah aplikasi pengolahan data GPS yaitu RTKLIB versi 2.4.2. Sedangkan untuk pengolahan data EGM2008 menggunakan perangkat lunak Force versi 2.0.9p. Perangkat lunak tersebut dipakai untuk mendapatkan nilai mentah data pengukuran, untuk proses lebih lanjutnya menggunakan Matlab R2013a.

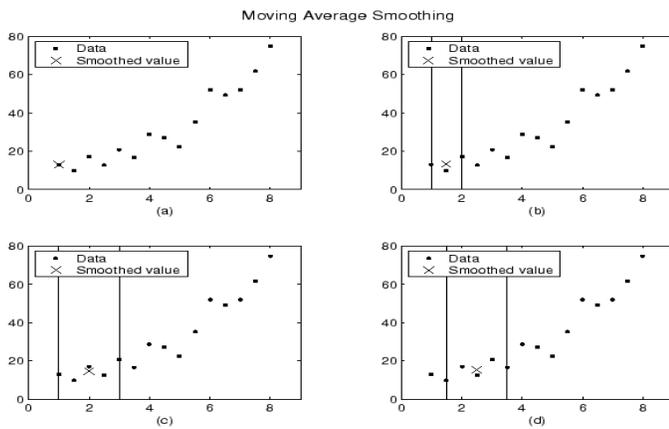
C. Tahap Pengolahan Data

Dalam penelitian ini terdapat tiga jenis data yang akan diproses, yaitu data GPS pasut, data EGM 2008 dan data pengamatan pasut sesaat. Dalam pengolahan data pengamatan GPS, data yang dihasilkan pada saat pengamatan masih berupa data asli yang dihasilkan oleh *receiver* GPS. Sehingga data pengamatan tersebut harus dikonversi kedalam bentuk *Receiver Independent Exchange Format* (RINEX) agar dapat diproses pada RTKLIB. Dalam pemrosesannya, data yang diperlukan adalah data RINEX *base* dan *rover*. Data tambahan untuk pengolahan RINEX GPS adalah informasi navigasi (*.n) dan orbit satelit (*.sp3). Hasil dari pengolahan data RINEX GPS berupa koordinat lintang, bujur, dan tinggi ellipsoid dari *receiver* GPS yang berada di kapal. Koordinat tersebut merupakan koordinat sepanjang jalur pemeruman. Proses pengolahan data selanjutnya adalah pengolahan data EGM2008. Hasil dari pengolahan data EGM2008 adalah nilai undulasi pada tiap titik koordinat jalur pemeruman. Informasi yang diperlukan untuk mendapatkan nilai undulasi adalah koordinat lintang dan bujur yang dihasilkan dari pengolahan data RINEX GPS sebelumnya. Perangkat lunak yang digunakan adalah Force versi 2.0.9p, untuk menjalankannya menggunakan *script* yang sudah disediakan oleh penyedia data EGM2008. Informasi undulasi ini diperlukan untuk mereduksi nilai tinggi ellipsoid yang dihasilkan GPS menjadi tinggi orthometrik, relatif terhadap model geoid EGM2008.

Penentuan tinggi pasut GPS dilakukan relatif terhadap *base* GPS menggunakan *script* Matlab. *Script* Matlab merupakan sebuah program yang berisi algoritma perhitungan pasut GPS yang nantinya dijalankan di perangkat lunak Matlab. Nilai tinggi ellipsoid *base* dan *rover* yang telah direduksi menjadi tinggi orthometrik kemudian dicari nilai beda tingginya. Nilai beda tinggi (dH) kemudian direduksi dengan nilai tinggi titik *base* terhadap nol rambu pasut. Nilai dH yang telah tereduksi ini yang digunakan sebagai nilai pasut yang diamati oleh GPS. Dalam pengolahan data pasut GPS, hal yang menjadi tantangan adalah jumlah data yang dihasilkan. Pengamatan pasut menggunakan GPS akan menghasilkan data dengan interval pengamatan mencapai 1Hz atau dengan kata lain setiap detik akan merekam data. Sedangkan data pengamatan pasut sesaat interval pengamatan paling cepat yaitu 5 menit. Untuk mengatasi ketimpangan interval tersebut maka dalam pemrosesan data pasut GPS diperlukan proses penyaringan dan penghalusan terhadap data tersebut. Dimana setelah dilakukan penyaringan dan penghalusan diharapkan data dan grafik yang dihasilkan akan mendekati pengamatan pasut sesaat. Metode penyaringan dan penghalusan data pasut GPS menggunakan *Moving Average Filtering*. Metode ini merupakan penyaringan data menggunakan rata-rata data sepanjang rentang data yang telah ditentukan, dengan rentang data harus bilangan ganjil [5].

$$y_s(i) = \frac{1}{2N+1} (y(i+N) + y(i+N-1) + \dots + y(i-N)) \quad (1)$$

Dimana $y_s(i)$ adalah data hasil *moving average filtering* ke i , N adalah jumlah data di samping $y_s(i)$ dan $2N + 1$ adalah rentang data.

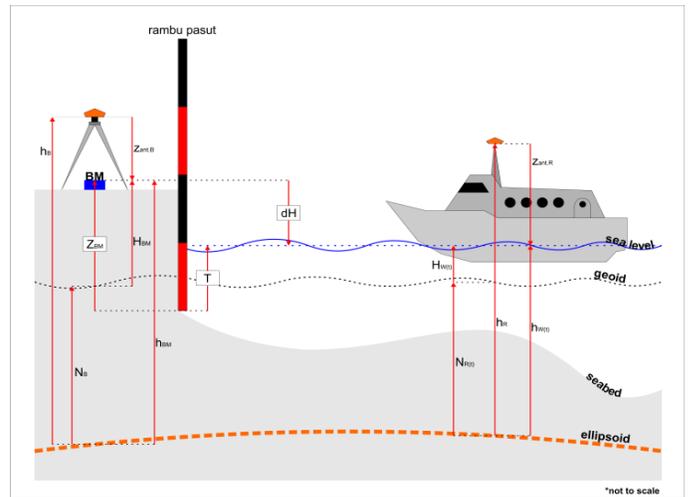


Gambar 2. *Moving Average Filtering*

Dalam pendefinisian tinggi muka air laut menggunakan GPS perlu adanya komponen vertikal yang digunakan untuk reduksi nilai tinggi ellipsoid yang didapatkan menggunakan GPS. Komponen vertikal tersebut didapatkan melalui pengukuran langsung di lapangan dan hasil dari pengolahan data sekunder. Berdasarkan Gambar 2.3, komponen vertikal terbagi menjadi dua yaitu komponen di kapal dan komponen di stasiun *base* GPS, sebuah model separasi sederhana dapat didefinisikan dengan menarik rambu pasut menggunakan sipat datar ke titik *base*. Model separasi sederhana merupakan selisih antara ellipsoid dengan *chart datum*. Penentuan model separasi sederhana ini umumnya hanya berlaku untuk wilayah lokal saja, karena model separasi yang ditentukan hanya berada satu titik dengan asumsi nilai variasi geoid dan topografi permukaan laut minimum [6].

$$SEP = h_B - Z_{antB} - Z_{BM} \quad (2)$$

Dimana, SEP adalah model separasi sederhana, h_B adalah tinggi ellipsoid *base*, $Z_{ant.B}$ adalah tinggi antenna *base* terhadap titik BM , dan Z_{BM} adalah tinggi titik BM terhadap nol rambu pasut [7].



Gambar 3. Komponen Vertikal Pasut GPS

Dalam penentuan tinggi muka air laut pada penelitian ini dilakukan relatif terhadap titik *base*, sehingga model separasi sederhana tidak dipakai dalam perhitungan, tetapi nilai tinggi titik *base* terhadap nol rambu pasut yang dipakai dalam perhitungan. Tinggi *base* terhadap nol rambu pasut (Z_{BM}) didapatkan dari pengukuran sipat datar.

Untuk dapat menentukan tinggi ellipsoid titik BM maka perlu mengetahui tinggi antenna pada *base* ($Z_{ant.B}$). Sehingga tinggi ellipsoid BM dapat dihitung dengan persamaan,

$$h_{BM} = h_B - Z_{antB} \quad (3)$$

Dimana,

- h_{BM} : tinggi ellipsoid BM
- h_B : tinggi ellipsoid *receiver base*
- Z_{antB} : tinggi antenna dari BM

Sedangkan untuk mendapatkan tinggi ellipsoid permukaan air, perlu adanya informasi tinggi antenna dari permukaan air. Tinggi antenna *rover* ke permukaan air diasumsikan tetap, dengan kata lain tidak terpengaruh oleh gerakan kapal dan pengaruh dinamika laut lainnya. Sehingga dapat ditulis dalam persamaan,

$$h_{w(t)} = h_{R(t)} - Z_{antR} \quad (4)$$

Dimana,

- $h_{w(t)}$: tinggi ellipsoid muka air pada saat t
- $h_{R(t)}$: tinggi ellipsoid *rover* pada saat t
- Z_{antR} : tinggi *rover* diukur dari muka air

Informasi undulasi diperlukan untuk mengubah tinggi ellipsoid menjadi tinggi orthometrik. Nilai undulasi didapatkan dari model geoid global EGM2008, sehingga tinggi orthometrik yang didapatkan merupakan tinggi orthometrik relatif terhadap EGM2008. Nilai undulasi yang diperlukan meliputi undulasi di titik *base* dan undulasi di tiap titik *rover*. Sehingga untuk menghitung beda tinggi *base* dengan *rover* menggunakan persamaan

$$dh = dh - dN \quad (5)$$

dimana,

$$dh = h_{w(t)} - h_{BM} \tag{6}$$

$$dN = N_{R(t)} - N_{BM} \tag{7}$$

- dH : beda tinggi orthometrik *base* dengan *rover*
- dh : beda tinggi ellipsoid *base* dengan *rover*
- dN : beda undulasi *base* dengan *rover*
- $N_{R(t)}$: undulasi pada titik *rover* pada saat t
- N_{BM} : undulasi di titik BM

Nilai beda tinggi (dH) memiliki nilai yang berbeda dengan pasut pengamatan. Acuan dari dH merupakan titik BM/*base* sedangkan acuan pasut pengamatan adalah nol rambu pasut. Maka untuk dapat menyamakan acuan antara pasut GPS dengan pasut pengamatan perlu informasi beda tinggi antara rambu pasut dengan BM (Z_{BM}). Sehingga pasut GPS relatif terhadap titik *base* dapat dihitung dengan persamaan,

$$T_{(t)} = (h_{w(t)} - h_{BM}) - (N_{R(t)} - N_{BM}) + Z_{BM} \tag{8}$$

Dimana $T_{(t)}$ adalah tinggi muka air pada saat t dan Z_{BM} didapatkan dari pengukuran sipat datar.

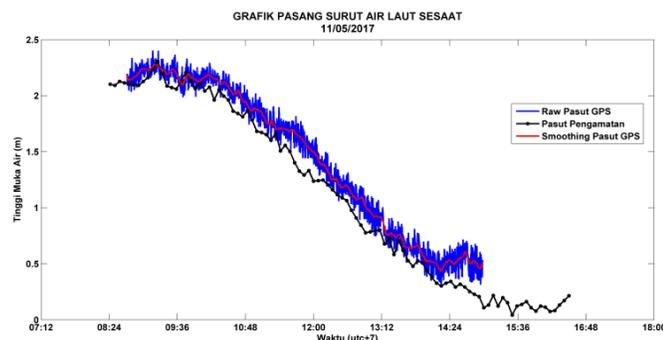
Selain itu, untuk mengetahui keakuratan pasut GPS terhadap pasut pengamatan palem, maka perlu dihitung nilai RMSE (*Root Mean Squared Error*) dengan rumus,

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{n}} \tag{9}$$

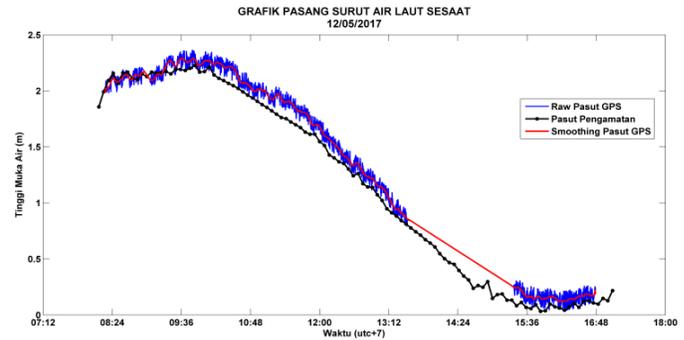
Dimana, RMSE adalah *Root Mean Squared Error*, $\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2$ adalah jumlah kuadrat nilai ukuran dikurangi nilai yang dianggap benar, dan n adalah panjang data.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengamatan pasang surut air laut di Pelabuhan Perikanan Sendang Biru, Jawa Timur dilakukan selama dua hari pada 11 dan 12 Mei 2017 (*Day of Year* 131-132) dengan durasi pengamatan per hari 8-9 jam pengamatan. Hasil dari penelitian ini berupa grafik pasang surut air laut dan nilai selisih tinggi pasut antara pasut pengamatan dengan pasut GPS.



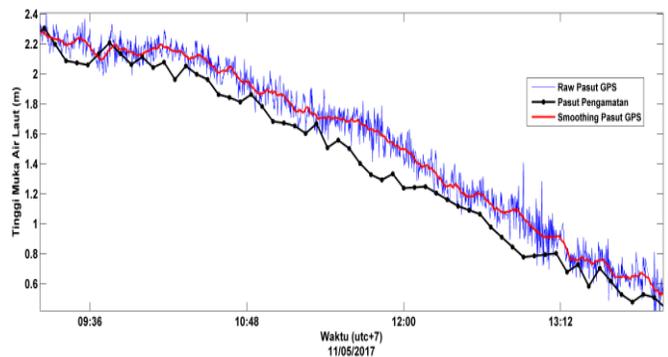
Gambar 5. Grafik Pasut DOY 131



Gambar 6. Grafik Pasut DOY 132

Hasil *plotting* elevasi pasut menunjukkan bahwa pola grafik pasut GPS dan pasut pengamatan relatif sama. Dalam Gambar 3.1 dan 3.2 menunjukkan titik-titik biru merupakan pola grafik *raw* pasut GPS. Elevasi pasut GPS sangat bervariasi karena data pengamatan diambil setiap 10 detik. Garis dan titik hitam menunjukkan hasil *plotting* untuk data pasut pengamatan. Dari gambar grafik terlihat pola grafik pasut GPS dengan pasut pengamatan relatif berhimpit.

Garis merah pada Gambar 3.3 dan Gambar 3.4 menunjukkan pola grafik hasil *Moving Average Filtering* data *raw* pasut GPS. Dalam Gambar 3.3 dan 3.4 terlihat bahwa garis merah dengan garis hitam menunjukkan pola grafik yang relatif sama.



Gambar 7. Perbandingan Grafik Pasut

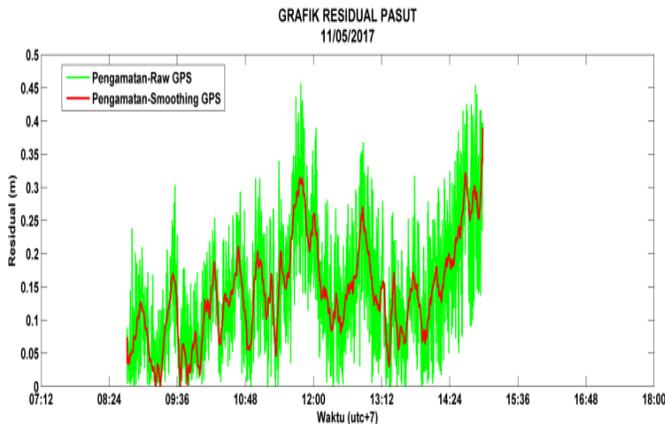
Residual dari data pasut pengamatan dengan pasut GPS menunjukkan nilai yang relatif kecil. Nilai residual merupakan selisih atau perbedaan individu dalam populasi data pasut. Nilai residual yang dihitung merupakan selisih antara pasut pengamatan dengan pasut GPS dan pasut GPS hasil *filtering*. Nilai residu ditunjukkan pada Tabel 1 berikut,

Tabel 1. Residual Pasut

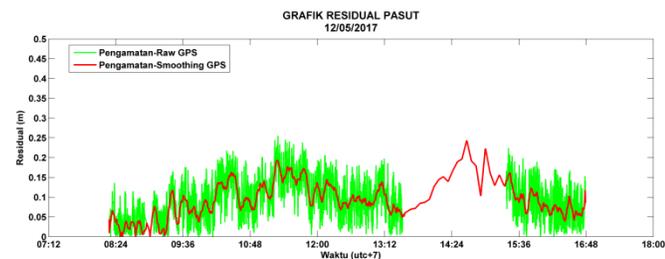
Day of Year (DOY)	Residual	Terkecil (cm)	Terbesar (cm)	Rata-rata (cm)
131	Raw Pasut GPS	0	45,68	14,55
	Smoothing Pasut GPS	0,07	39,04	14,15
132	Raw Pasut GPS	0,02	25,54	10,18
	Smoothing Pasut GPS	0,03	24,35	9,96

Residual *raw* pasut GPS menunjukkan rentang selisih yang relatif besar daripada residu *smoothing* pasut GPS, karena *raw* pasut GPS merupakan data mentah hasil pengolahan pasut

GPS, sehingga nilai tinggi pasutnya masih terpengaruh oleh pergerakan kapal karena pengaruh dinamika laut, sedangkan rentang selisih residu *smoothing* pasut GPS menunjukkan angka yang relatif kecil karena data *smoothing* pasut GPS sudah melalui proses *moving average filtering*, sehingga efek dinamika laut dapat diminimalisir.



Gambar 8. Grafik Residual Pasut DOY 131



Gambar 9. Grafik Residual Pasut DOY 132

Dalam Gambar 3.5 dan Gambar 3.6 menunjukkan grafik residual pasut DOY 131 dan DOY 132. Grafik berwarna hijau merupakan grafik residual pasut pengamatan dengan *raw* pasut GPS, sedangkan grafik berwarna merah merupakan grafik residual pasut pengamatan dengan *smoothing* pasut GPS.

Selanjutnya, untuk mengetahui tingkat akurasi dari data pasut GPS, diasumsikan data pengamatan pasut menggunakan palem pasut merupakan data yang benar. Sehingga nilai RMSE dapat dihitung. Dalam Tabel 2 akan ditunjukkan hasil perhitungan nilai RMSE.

Tabel 2
RMSE Pasut GPS

Keterangan	RMSE (cm)
Raw pasut GPS-Pasut pengamatan 11/05	17,17
Smoothing pasut GPS-Pasut pengamatan 11/05	15,91
Raw pasut GPS-Pasut pengamatan 12/05	11,66
Smoothing pasut GPS-Pasut pengamatan 12/05	11,04

Berdasarkan Tabel 2 diatas, nilai RMSE pasut GPS memiliki nilai yang relatif kecil, yaitu berkisar antara 11-17 sentimeter. Dengan kata lain tingkat akurasi dari pasut GPS dapat dikatakan tinggi.

IV. KESIMPULAN

Pada dasarnya pola pasut GPS relatif sama dengan pola pasut pengamatan sesaat, walaupun terdapat perbedaan yang besar. Perbedaan tersebut muncul terkait dengan komponen vertikal yang dipakai, yaitu undulasi dan adanya topografi permukaan laut, dimana topografi permukaan laut merupakan perbedaan rata-rata muka air laut terhadap geoid^[4]. Namun hal tersebut harus diteliti dengan seksama sebelum dapat ditarik kesimpulan yang tepat.

Data *time series* pasut GPS pada dasarnya masih terpengaruh oleh dinamika laut seperti angin dan ombak. Pembersihan data GPS diperlukan guna mengurangi gangguan terkait tinggi yang dihasilkan menggunakan GPS. Penggunaan sensor gerakan atau *Inertial Motion Unit* (IMU) akan membantu dalam mengurangi gangguan pada penetapan tinggi GPS. Metode penyaringan dan penghalusan data seperti *moving average filtering* juga membantu dalam mengurangi efek dari gangguan dinamika laut yang mempengaruhi tinggi ellipsoid GPS.

Tantangan kedepan adalah pengembangan model untuk transformasi tinggi dari ellipsoid ke *chart datum*. Sehingga akan menghasilkan data pasut GPS yang memiliki ketelitian baik. Selain itu metode penyaringan dan penghalusan data *time series* pasut GPS yang lebih baik juga menjadi sebuah pekerjaan rumah kedepannya. Metode *Real Time Kinematic* (RTK) juga perlu untuk dicoba, mengingat dengan metode RTK akan didapatkan posisi lintang, bujur, dan tinggi ellipsoid secara *real time*. Hal yang tidak kalah penting adalah penyesuaian sistem waktu antara pasut GPS dengan pasut pengamatan. Perbedaan sistem waktu akan berpengaruh pada pola pasut yang dihasilkan walaupun perbedaan waktu tersebut hanya berkisar pada detik.

Secara garis besar dari hasil perhitungan dan uraian kesimpulan diatas, pola pasang surut laut sesaat yang dihasilkan dari pengamatan langsung menggunakan palem pasut dengan pengamatan pasut menggunakan GPS metode kinematik-diferensial di kapal pada saat pemeruman menunjukkan pola yang relatif sama. Walaupun terdapat selisih antara pasut pengamatan konvensional dengan pasut GPS. Nilai RMSE pasut GPS menunjukkan tingkat akurasi yang relatif tinggi. Dari hasil penggambaran perbandingan grafik, dan nilai RMSE pasut GPS, maka penulis dapat menyimpulkan bahwa pasut sesaat yang diperlukan dalam koreksi kedalaman hasil pemeruman dapat diamati menggunakan metode kinematik-diferensial GPS. Walaupun masih perlu adanya studi lebih lanjut mengenai penggunaan pasut GPS.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis A. F. S. mengucapkan terima kasih kepada Laboratorium Geodesy dan Surveying Departemen Teknik Geomatika ITS yang telah menyediakan peralatan untuk keperluan pengamatan pasang surut air laut di Pelabuhan Sendang Biru.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] R. H. Stewart, "Introduction To Physical Oceanography," *Am. J. Phys.*, 2008.
- [2] H. Z. Abidin, *Penentuan Posisi dengan GPS dan Aplikasinya* (edisi

- 3). Jakarta: PT. Pradnya Paramita, 2007.
- [3] S. Haryono, & Narni, "Karakteristik Pasang Surut di Pulau Jawa," *J. Forum Tek.*, vol. 28, pp. 1-5, 2004.
- [4] D. W. Dodd, *Application of GPS Heights to Bay of Fundy Multibeam Data*. 2010.
- [5] S. W. Smith, "Digital Signal Processing. California Technical Publishing (edisi 2)," 1999. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1109/79.826412>.
- [6] D. Mills, J., & Dodd, "Ellipsoidally Referenced Surveying for Hydrography. International Federation of Surveyor (FIG)," 2014. [Online]. Available: <https://www.fig.net/resources/publications/figpub/pub62/figpub62.pdf>.
- [7] P. Sanders, "RTK Tide Basics," *Hydro Int.*, pp. 26-29, 2003.