

## MENGATASI *MISSING DATA* HASIL PENGUKURAN SATELIT ALTIMETRI TOPEX, JASON 1 DAN JASON 2 DENGAN METODE KALMAN FILTER

Dadan Kusnandar<sup>1</sup>, Muhlasah Novitasari Mara<sup>2</sup>, Yundari<sup>3</sup>, Neva Satyahadewi<sup>4</sup>, Naomi  
Nessyana Debatara<sup>5</sup>

<sup>1,2,3,4,5</sup> Jurusan Matematika FMIPA Universitas Tanjungpura,

<sup>1</sup>dadan\_kusnandar@mipa.untan.ac.id, <sup>2</sup>noveemara@gmail.com, <sup>3</sup>yuendha@yahoo.com

<sup>4</sup>neva.satya@gmail.com <sup>5</sup>naominessyana@gmail.com

### Abstrak

Satelit Topex, Jason 1 dan Jason 2 merupakan satelit altimetri yang dapat digunakan untuk mengukur kenaikan muka air laut. Siklus pengukuran satelit altimetri Topex, Jason 1 dan Jason 2 adalah sekitar 10 hari. Hasil pengukuran kenaikan permukaan air laut ketiga satelit tersebut dengan cakupan Laut Cina Selatan menunjukkan adanya *missing data*. Hal ini akan menimbulkan kendala ketika melakukan peramalan kenaikan muka air laut. Pengabaian *missing data* akan berdampak pada hasil peramalan yang tidak akurat. Paper ini membahas penggunaan metode Kalman Filter untuk mengestimasi *missing data* sebelum dianalisis lebih lanjut.

**Kata kunci:** *missing data*, Kalman Filter, estimasi, satelit altimetri

### A. PENDAHULUAN

Kenaikan tinggi muka air laut yang sering disebut dengan *sea level rise* (SLR) merupakan peningkatan volume air laut yang disebabkan oleh faktor-faktor kompleks. Salah satu faktor penyebab SLR tersebut adalah terjadinya pemanasan global dan perubahan iklim akibat meningkatnya kegiatan industri seiring dengan peningkatan jumlah penduduk yang berimbas pada naiknya emisi Gas Rumah Kaca (GRK). Dampak paling serius dari naiknya tinggi muka air laut ini adalah hilangnya pulau-pulau kecil. Sampai saat ini belum ada data pasti jumlah pulau di Indonesia yang telah hilang karena dampak SLR. Kalimantan Barat merupakan wilayah yang harus waspada akan ancaman ini mengingat panjang wilayah pesisirnya mencapai lebih dari 1500 km. Perairan laut wilayah Kalimantan Barat dipengaruhi oleh Laut Cina Selatan. Laut Cina Selatan ialah laut tepi, bagian dari Samudra Pasifik, mencakup daerah dari Singapura ke Selat Taiwan sekitar 3.500.000 km<sup>2</sup> dan termasuk badan laut terbesar setelah kelima samudera.

Perubahan kenaikan muka air laut dapat diestimasi dari pengukuran di stasiun pasang surut. Kekurangan pengukuran di stasiun pasang surut adalah jangkauan data terbatas di daerah sekitar pantai. Hal ini menyebabkan data hanya akurat untuk memprediksi perubahan kedudukan muka air laut di perairan dangkal atau dekat pantai. Berkembangnya teknologi satelit yang diperuntukan bagi *ocean monitoring* dalam hal ini dengan munculnya satelit altimetri seperti Topex, Jason 1 dan Jason 2 telah banyak membantu upaya pemantauan kedudukan muka laut secara kontinu. Satelit altimetri Topex diluncurkan tahun 1992 sampai dengan 2005. Satelit altimetri Jason 1 diluncurkan dari tahun 2002 sampai dengan 2012. Satelit altimetri Jason 2 diluncurkan sejak tahun 2008 sampai dengan sekarang. Siklus Topex, Jason 1 dan Jason 2 adalah sekitar 10 hari. Pada tahun 2002 sampai dengan 2005 satelit altimetri Topex diluncurkan bersamaan dengan Jason 1 dan pada tahun 2008 sampai dengan 2013 satelit altimetri 1

Makalah dipresentasikan dalam Seminar Nasional Matematika dan Pendidikan Matematika dengan tema "*Penguatan Peran Matematika dan Pendidikan Matematika untuk Indonesia yang Lebih Baik*" pada tanggal 9 November 2013 di Jurusan Pendidikan Matematika FMIPA UNY

diluncurkan bersamaan dengan Jason 2. Kekurangan dari pengukuran kenaikan muka air laut dengan satelit altimetri adalah terdapat *missing data* pada beberapa titik perhitungan. Adanya *missing data* menimbulkan kendala ketika melakukan peramalan kenaikan muka air laut. Jika *missing data* diabaikan akan berdampak pada hasil peramalan yang tidak akurat. Pada paper ini akan digunakan metode Kalman Filter untuk mengestimasi *missing data* hasil pengukuran kenaikan muka air laut satelit Topex, Jason 1 dan Jason 2.

**B. PEMBAHASAN**

Kalman filter merupakan algoritma *processing* data rekursif yang menggabungkan model dengan pengukuran. Proses dalam Kalman filter dibagi menjadi dua tahapan yaitu *time update* dan *measurement update*. *Time update* disebut juga sebagai proses *predict*, yaitu menggunakan estimasi *state* dari satu waktu sebelumnya untuk mendapatkan sebuah estimasi *state* pada saat ini. Pada tahap ini dihitung nilai *predicted state* dan *predicted error covariance*. *Predicted state* dapat dihitung dengan persamaan berikut

$$\hat{x}_k^- = A\hat{x}_{k-1} + Bu_k$$

Dengan  $\hat{x}_k^-$  adalah *predicted state* pada waktu ke k,  $\hat{x}_{k-1}^-$  adalah *predicted state* pada waktu ke k-1, **A**,**B** adalah matriks dinamik berukuran  $n \times n$ ,  $u_k$  adalah *control input plant*.

*Predicted error covariance* dapat dihitung dengan persamaan berikut

$$P_k^- = AP_{k-1}A^T + Q \tag{1}$$

dengan **Q** merupakan *process noise covariance*. Ketika memulai proses Kalman filter diperlukan syarat nilai awal dari  $P_{k-1}$  dan  $\hat{x}_{k-1}$  atau bisa dinotasikan  $P_0$  dan  $\hat{x}_0$ . Penentuan  $\hat{x}_0$  biasanya diperoleh dengan memperkirakan *state* sistem pada keadaan awal. Penentuan  $P_0$  tidak begitu penting sebab filter akan menyesuaikan dengan sendirinya namun  $P_0$  sebaiknya bernilai tidak sama dengan nol, sebab apabila  $P_0 = 0$  akan menyebabkan filter menginisialisasi dan selalu percaya bahwa  $\hat{x}_k = \hat{x}_0$  (Welch and Bishop,2006).

Tahapan setelah *time update* adalah *measurement update* yang disebut juga sebagai proses *correct*, yaitu informasi pengukuran pada saat ini digunakan untuk memperbaiki prediksi, dengan harapan akan didapatkan *state* estimasi yang lebih akurat. Langkah pertama dalam *measurement update* adalah menghitung Kalman Gain, menggunakan persamaan berikut

$$K_k = P_k^- H^T (HP_k^- H^T + R)^{-1} \tag{2}$$

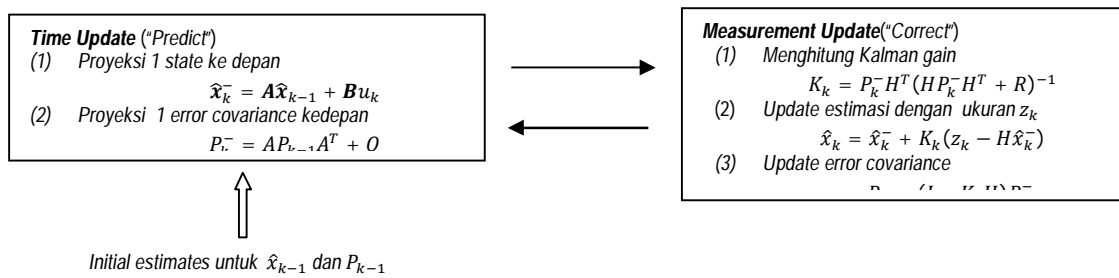
Dengan **R** merupakan *measurement noise covariance*. Langkah selanjutnya adalah *updated state estimate* untuk mendapatkan estimasi optimal dari *state* yang baru dengan mengalikan selisih matriks observasi  $z_k$  dan nilai *predicted sensor*  $H\hat{x}_k^-$

$$\hat{x}_k = \hat{x}_k^- + K_k(z_k - H\hat{x}_k^-)$$

Langkah terakhir dari proses *correct* adalah *update error covariance* yakni mencari *estimation error covariance* yang baru menggunakan persamaan

$$P_k = (I - K_k H)P_k^-$$

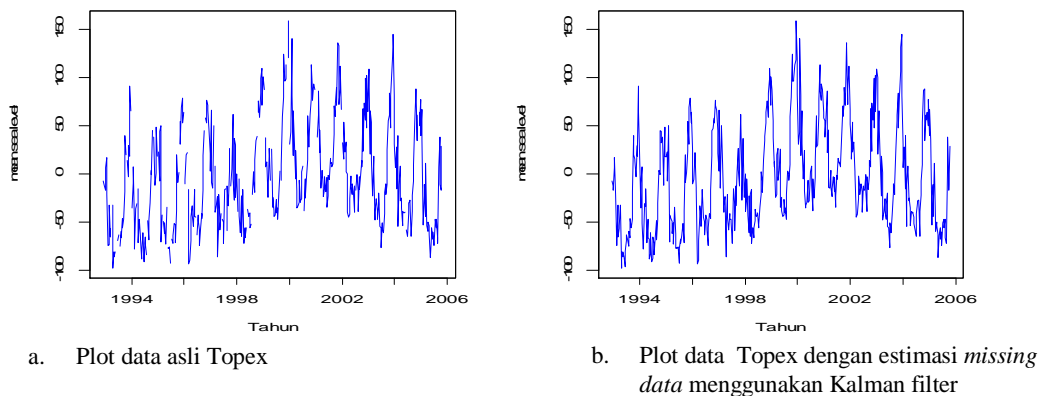
Algoritma pada Kalman Filter menggunakan proses berulang dari *predict* dan *correct*. Dalam implementasinya, **R** dan **Q** pada persamaan (1) diukur terlebih dahulu untuk operasi filter. Penentuan parameter ini sangat bergantung dari model sistem yang digunakan. Sebaiknya **R** dan **Q** adalah nilai yang konstan sebab pada kondisi demikian *estimation error covariance*  $P_k$  pada persamaan (1) dan Kalman gain  $K_k$  pada persamaan (2) akan stabil lebih cepat dan akan tetap konstan. Secara ringkas proses Kalman filter dapat dilihat pada gambar 1



Gambar 1. Proses Estimasi dengan Kalman Filter

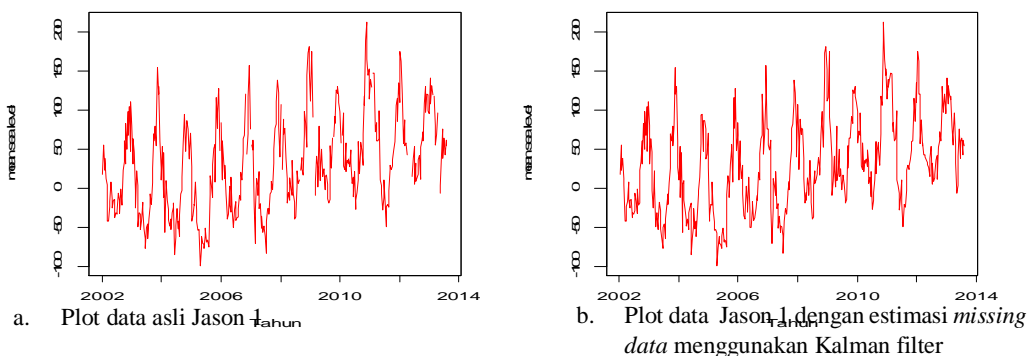
Pada penelitian ini Kalman filter digunakan untuk mengestimasi *missing data* hasil pengukuran kenaikan muka air laut satelit altimetri Topex, Jason 1 dan Jason 2. Proses estimasi *missing data* dilakukan dengan bantuan program R menggunakan *function* `na.StructTS` dalam *package* `zoo`. Data diambil dari web [http://ibis.grdl.noaa.gov/SAT/SeaLevelRise/LSA\\_SLR\\_timeseries.php](http://ibis.grdl.noaa.gov/SAT/SeaLevelRise/LSA_SLR_timeseries.php) dengan cakupan Laut Cina Selatan. Siklus Topex, Jason 1 dan Jason 2 adalah sekitar 10 hari sehingga terdapat 37 titik pengamatan dalam satu tahun.

Data hasil pengukuran Topex ada sebanyak 476 data dari titik pengamatan ke 36 tahun 1992 sampai dengan titik pengamatan ke 28 tahun 2005. Terdapat 38 *missing data* pada hasil pengukuran satelit altimetri Topex tersebut. Plot data asli hasil pengukuran satelit altimetri Topex beserta plot hasil estimasi Kalman filter dapat dilihat pada gambar 2.



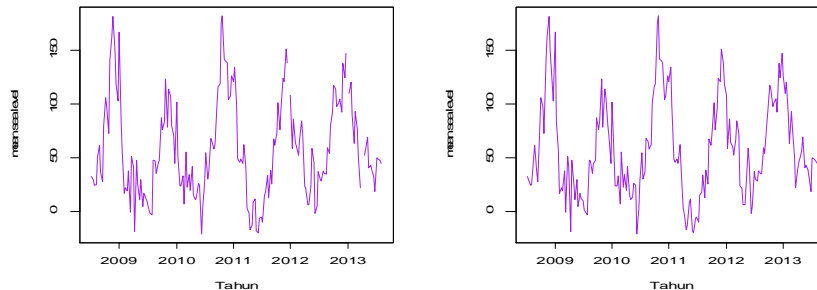
Gambar 2. Plot data asli Topex dan hasil estimasi *missing data* menggunakan Kalman Filter

Data hasil pengukuran Jason 1 ada sebanyak 429 data dari titik pengamatan ke 3 tahun 2002 sampai dengan titik pengamatan ke 17 tahun 2013. Terdapat 19 *missing data* pada hasil pengukuran satelit altimetri Jason 1 tersebut. Plot data asli hasil pengukuran satelit altimetri Jason 1 beserta plot hasil estimasi Kalman filter dapat dilihat pada gambar 3.



Gambar 3. Plot data asli Jason 1 dan hasil estimasi *missing data* menggunakan Kalman Filter

Data hasil pengukuran Jason 2 ada sebanyak 189 data dari titik pengamatan ke 21 tahun 2008 sampai dengan titik pengamatan ke 23 tahun 2013. Terdapat 4 *missing data* pada hasil pengukuran satelit altimetri Jason 2 tersebut. Plot data asli hasil pengukuran satelit altimetri Jason 2 beserta plot hasil estimasi Kalman filter dapat dilihat pada gambar 4.



a. Plot data asli Jason 1

b. Plot data Jason 1 dengan estimasi *missing data* menggunakan Kalman filter

Gambar 3. Plot data asli Jason 1 dan hasil estimasi *missing data* menggunakan Kalman Filter

### C. KESIMPULAN

*Missing data* merupakan kejadian yang sering terjadi dalam setiap penelitian. Hilangnya data dapat terjadi karena berbagai faktor yang sering kali diluar kontrol peneliti. Plot data asli hasil pengukuran satelit altimetri Topex, Jason 1 dan Jason 2 pada gambar 2, gambar 3 dan gambar 4 menunjukkan data tidak stationer dan terdapat beberapa *missing data*. Pada kondisi data yang demikian Kalman filter dapat digunakan untuk estimasi *missing data* karena Kalman filter mengkombinasikan perhitungan model dan hasil ukuran.

### D. DAFTAR PUSTAKA

- Chambers, John M. 2008. *Software for Data Analysis: Programming with R* Springer.
- Church, J. and White, N. 2006. *20th Century Acceleration in Global Sea Rise*. Geophysical Research Letters. 33. L01602
- Welch, G. And Bishop, G. 2001. *An Introduction to The Kalman Filter*. University of North Carolina at Chapel Hill. Departement of Computer science.
- Snyder, R. D. and Forbes, C. S. 2002. *Reconstructing the Kalman Filter for Stationary and Non Stationary Time series*. Monash University of Australia. Departement of Econometrics and Business Statistics.
- Tussel Fernando. 2011. *Kalman Filtering in R*. Journal of Statistical Software . 39 (2).