

ANALISIS *CHANGEPOINT* DETECTION PADA *SEA LEVEL ANOMALY* JASON-3 DENGAN TRANSFORMASI WAVELET HAAR DI PERAIRAN LAUT UTARA JAWA

RIZKI IRIANTO¹, NI MADE RAI RATIH CAHYA PERBANI¹

1. Program Studi Teknik Geodesi, Institut Teknologi Nasional, Bandung

Email: rizkiirianto.ri@gmail.com

ABSTRAK

Changepoint detection pada sea level anomaly merupakan proses dalam mengidentifikasi terjadi perubahan dalam pola maupun karakteristik dalam rangkaian data sea level anomaly. Metode yang digunakan dalam penentuan changepoint adalah transformasi wavelet haar, dengan menguji secara rinci terhadap sinyal untuk melihat pola atau karakteristik yang mengalami perubahan. Data yang digunakan adalah data satelit altimetri Jason 3 dengan periode tahun pengamatan 2016-2022 (cycle 1-226 dan pass 051). Magnitude scalogram dibangun menggunakan Continuous Wavelet Transform (CWT) untuk melihat pengaruh konstanta harmonik pasang surut. Berdasarkan hasil yang diperoleh, terdapat 2 changepoint yang yaitu pada Agustus 2018 dan Mei 2019. Pola sea level anomaly yang dilihat berdasarkan sinyal sintesis hasil dekomposisi dan magnitude scalogram, memang terdapat perubahan pola yang terjadi terhadap changepoint. Perubahan pola yang terjadi juga didukung oleh nilai perubahan nilai variansi dan rata-rata setiap segmennya, yaitu sebesar 92% pada Segmen Dua dekomposisi D4.

Kata kunci: waktu banjir rob, pasut, altimetri, model SLA

1. PENDAHULUAN

Changepoint detection adalah proses untuk mengidentifikasi titik atau waktu di dalam rangkaian data di mana terjadi perubahan yang signifikan dalam pola, struktur, atau karakteristik dalam suatu data. Tujuan dari *changepoint detection* adalah untuk menemukan dan memahami perubahan yang terjadi dalam data. *Sea level anomaly* merupakan perbedaan tingkat permukaan laut aktual dan tingkat permukaan laut yang diharapkan (*expected sea level*) secara normal pada suatu lokasi tertentu (Hartanto dkk. 2013). Wavelet merupakan suatu teknik matematika yang bermanfaat untuk analisis numerik dan manipulasi dari kumpulan satu atau dua dimensi sinyal. Dalam proses transformasinya, wavelet bekerja seperti sebuah mikroskop yang menguji secara rinci dengan membagi sinyal ke dalam komponen frekuensi yang berbeda yang dipetakan dalam koefisien dengan energi yang berbeda (Novamaziyanti dkk. 2015). Sinyal ini dianalisis dalam transformasi wavelet dengan menggunakan teknik *multiresolution analysis*. Secara umum, *multiresolution analysis* adalah teknik yang digunakan untuk menganalisis frekuensi dengan cara frekuensi yang berbeda dianalisis menggunakan resolusi yang berbeda (Sripathi, 2003). Dengan demikian, analisis wavelet dapat membantu kita mengenali pola-pola periodik yang mungkin terdapat dalam data tinggi muka air pada berbagai rentang waktu, mulai dari waktu singkat hingga waktu yang lebih lama. Dengan memantau *changepoint sea level anomaly*, diharapkan dapat mengidentifikasi tren, perubahan signifikan permukaan laut, serta pola fluktuasi sehingga

dapat mempekirakan pola *sea level anomaly* dan gelombang pasang surut yang mempengaruhinya.

Berdasarkan uraian diatas, maka dilakukan penelitian ini untuk mendeteksi kapan waktu terjadinya perubahan dari data *sea level anomaly* menggunakan *changepoint detection* menggunakan metode transformasi wavelet Haar serta perubahan variansinya yang kemudian dikaitkan pengaruhnya terhadap konstanta harmonik pasut periode panjang terhadap *magnitude scalogram* yang dibuat menggunakan *continuous wavelet transform* (CWT) dan sinyal sintesis empat resolusi yang dibuat menggunakan *multiresolution analysis* (MRA). penelitian ini diharapkan dapat mengidentifikasi periode atau kejadian khusus di mana terjadi perubahan signifikan dalam tingkat permukaan laut. Hal tersebut juga akan membantu dalam memahami tren jangka panjang, pola fluktuasi dan dinamika perubahan.

2. METODOLOGI PENELITIAN

2.1 Lokasi Penelitian

Penelitian dilakukan pada perairan laut utara Jawa di 220 km dari utara Kota Tegal pada lokasi yang dilewati (*pass*) oleh satelit altimetri Jason-3. Titik pengamatan penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 1.



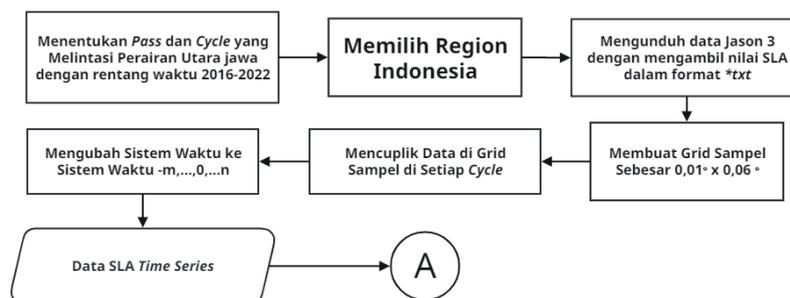
Gambar 1. Wilayah Penelitian

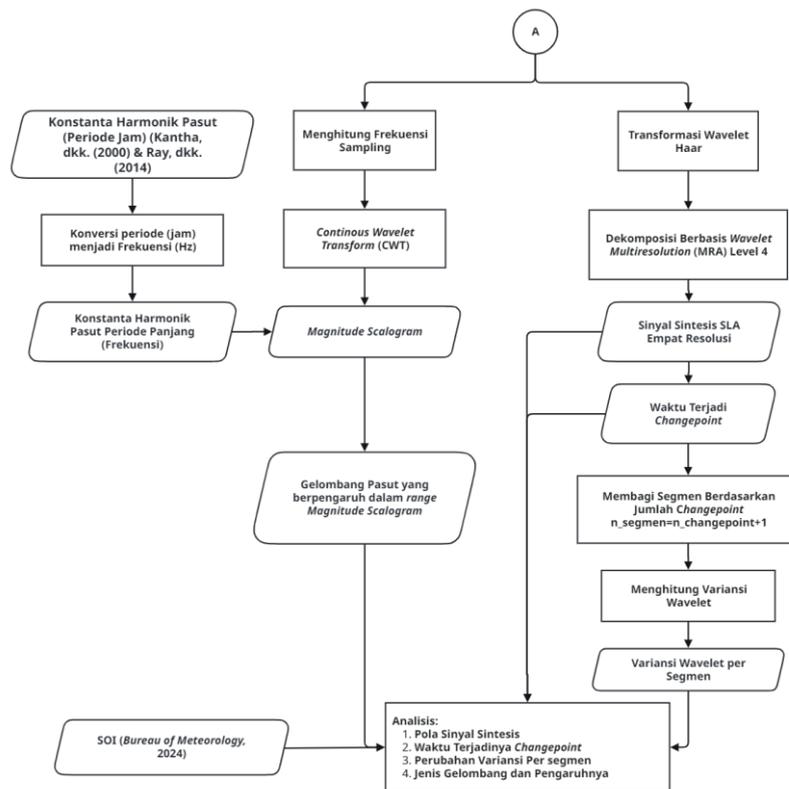
2.2 Data Penelitian

Data pengamatan satelit altimetri digunakan dalam penelitian ini didapatkan dari *Radar Altimetry Database System* yang diunduh dari laman <http://rads.tudelft.nl/rads/data/authentication.cgi>. Data yang digunakan adalah data *sea level anomaly* dari hasil pengamatan satelit altimetri Jason-3 periode tahun 2016-2022 (*cycle* 1—226 pada *pass* 051). Kemudian, data konstanta harmonik pasang surut yang digunakan adalah data konstanta harmonik periode panjang yang bersumber dari Kantha, dkk. (2000) & Ray, dkk. (2014) mengingat resolusi temporal satelit altimetri Jason-3 sepanjang 10 hari.

2.3 Pelaksanaan Penelitian

Adapun tahapan pelaksanaan pengolahan data penelitian dapat dilihat pada Gambar 2.



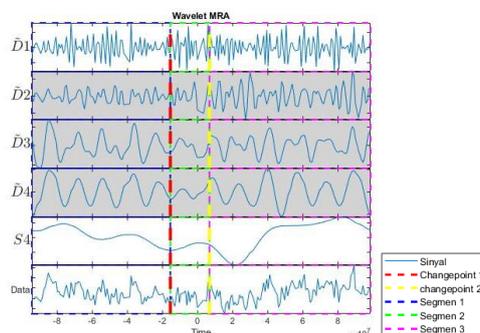


Gambar 2. Diagram Alir Penelitian

3. HASIL DAN ANALISIS

3.1 Waktu Terjadinya *Changepoint*

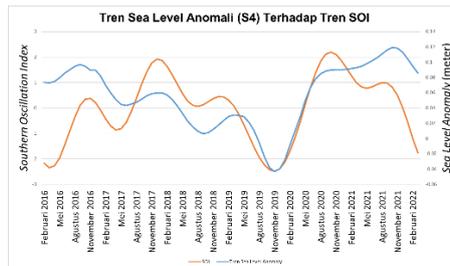
Berdasarkan Gambar 3 *changepoint* yang terdeteksi sebanyak dua titik yaitu pada 19 Agustus 2018 yang ditandai dengan garis putus berwarna merah (*Changepoint 1*) dan 4 Mei 2019 yang ditandai dengan garis putus berwarna kuning (*Changepoint 2*). Pola perubahan Segmen satu, Segmen Dua, dan Segmen Tiga dapat lebih terlihat jelas pada dengan mengamati perubahan variansi yang terjadi, perubahan rata-rata dari data serta perubahan pola dari sinyal sintesis (hasil dekomposisi). Gambar 3 menunjukkan hasil dari sinyal sintesis.



Gambar 3. Sinyal Sintesis yang diplot dengan *Changepoint*

Pada Gambar 3, level dekomposisi D1 menunjukkan perbedaan pola antara Segmen Satu, Dua, dan Tiga. Segmen Satu memiliki pola sinyal dengan lonjakan rendah yang secara periodik meningkat, sedangkan Segmen Dua didominasi oleh lonjakan tinggi dan Segmen

Tiga kembali menunjukkan pola periodik dengan lonjakan rendah dan tinggi. Pada D2, Segmen Satu memiliki lonjakan rendah, Segmen Dua lebih tinggi, dan Segmen Tiga tertinggi. Pada D3 dan D4, Segmen Satu dan Tiga memiliki osilasi teratur dengan lonjakan tinggi, sementara Segmen Dua memiliki amplitudo tidak teratur dan lonjakan rendah. Perubahan pola pada Segmen Dua, terutama pada D4, mengindikasikan pengaruh pasang surut laut, yang dibentuk oleh gaya tarik benda astronomi. Perubahan pola dengan periode enam bulan ini diindikasikan dipengaruhi oleh revolusi bulan mengelilingi bumi dan revolusi bumi mengelilingi matahari. Gambar 4 menunjukkan tren SLA terhadap SOI.

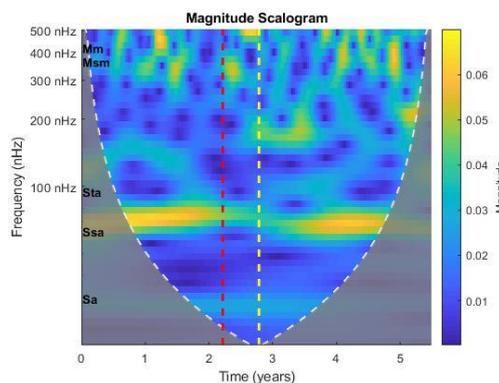


Gambar 4. Tren SLA Terhadap SOI

Untuk dekomposisi S4, yaitu sinyal aproksimasi S4 menunjukkan tren dari *sea level anomaly*. Pada tren dekomposisi S4 menunjukkan perubahan yang lambat dalam data asli. Tren S4 sinyal *sea level anomaly* di perairan laut utara Jawa juga dipengaruhi oleh ENSO atau *El Nino Southern Oscillation* (Handoko dkk., 2019). Pengaruh ENSO berbeda-beda antar wilayah bergantung pada lokasi dan topografi. ENSO mempengaruhi keadaan meteo-oseanografi yaitu kondisi curah hujan di darat maupun laut, suhu permukaan laut maupun tinggi permukaan laut. Hal tersebut ditunjukkan pada Gambar 4 yang menggambarkan hubungan tren *sea level anomaly* terhadap tren SOI atau *Southern Oscillation Index* yang merupakan indeks kejadian ENSO. Nilai korelasi yang diperoleh dari tren *sea level anomaly* dan SOI sebesar 0,5 yang menjelaskan bahwa antara tren *sea level anomaly* dan SOI memiliki hubungan yang cukup kuat/moderate. Penelitian yang dilakukan oleh Handoko dkk. (2019) juga menunjukkan bahwa memang terdapat pengaruh ENSO pada wilayah utara Jawa terutama bagian barat.

3.2 Magnitude Scalogram

Scalogram dapat digunakan untuk lokalisasi waktu yang lebih baik dalam kejadian berdurasi pendek dan frekuensi tinggi dan lokalisasi frekuensi yang lebih baik untuk kejadian frekuensi rendah dan berdurasi lebih lama (Mathworks, 2024). Pada Gambar 5 menggambarkan *magnitude scalogram* yang diplot dengan *changepoint* yang terdeteksi beserta konstanta gelombang pasang surut yang mempengaruhi *sea level anomaly*.



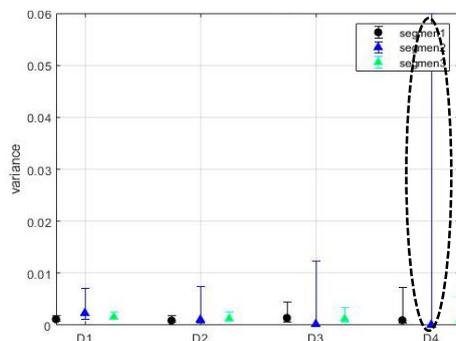
Gambar 5. Magnitude Scalogram

Dari Gambar 5 terlihat bahwa *sea level anomaly* di Laut Utara Jawa selama 2016 hingga 2022 dipengaruhi oleh konstanta harmonik periode panjang seperti Sa, Ssa, Sta, Msm, dan Mm. Pada frekuensi tinggi, terdapat *magnitude* yang lebih beragam, menandakan adanya pola fluktuasi yang dipengaruhi oleh Mm dan Msm. Pada frekuensi 95 nHz yang dipengaruhi oleh Sta, *magnitude* sedang dan beberapa spot dengan *magnitude* kecil terlihat. Sedangkan pada frekuensi 63 nHz yang dipengaruhi oleh Ssa, terdapat *magnitude* besar yang bervariasi dari 0,06 di awal hingga melemah menjadi 0,03 pada tahun ketiga, lalu kembali menguat hingga 0,06 sampai tahun keenam. Pada frekuensi 30 nHz dengan *magnitude* sebesar 0,026 yang konstan, Sa atau solar annual berpengaruh pada *sea level anomaly* dengan fluktuasi lambat yang menandakan tren jangka panjang. Konstanta Sa yang konstan menunjukkan kolaborasi dengan Ssa yang memiliki periode enam bulan.

Pada Gambar 5 juga menggambarkan *magnitude scalogram* yang telah di plot dengan *change point* yang terdeteksi. Pada Segmen Satu (sebelum *Change point* 1), nilai *magnitude* yang tinggi didominasi oleh konstanta Ssa, adapun konstanta Sa memiliki *magnitude* yang stabil. Sedangkan pada frekuensi tinggi yaitu konstanta Mm dan Msm memiliki pola *magnitude* yang lebih beragam. Sedangkan pada segmen Dua, nilai *magnitude* semakin melemah terutama pada konstanta Ssa, sedangkan pada frekuensi tinggi, memiliki nilai *magnitude* yang beragam namun terdapat energi dengan *magnitude* yang besar dibanding Segmen Satu dan dua pada frekuensi tinggi. Dan pada Segmen Tiga, khususnya pada konstanta Ssa, nilai *magnitude* kembali naik hingga akhir waktu pengamatan. Pada frekuensi rendah nilai *magnitude* tidak ada perubahan baik pada Segmen Satu hingga Segmen Tiga.

3.3 Perubahan Nilai Variansi

Gambar 6 menunjukkan perubahan variansi dari *sea level anomaly* yang dibagi menjadi tiga segmen berdasarkan waktu terjadinya *change point* yang terdeteksi.



Gambar 6. Wavelet Variance

Dari Gambar 6, terlihat bahwa nilai rata-rata variansi tiap level dekomposisi dan tiap segmen adalah 0,001 m². Pada Segmen Satu, yang ditandai dengan lingkaran hitam, variansi dan *errorbar* kecil pada D1 dan D2, sementara D3 dan D4 memiliki *errorbar* 70% lebih besar. Segmen Dua, ditandai dengan segitiga biru, memiliki variansi kecil tetapi *errorbar* lebih besar dibandingkan Segmen Satu dan Tiga, dengan kenaikan *errorbar* sebesar 70-74% pada D1-D3 dan 92% pada D4. Segmen Tiga, ditandai dengan segitiga hijau, memiliki variansi dan *errorbar* kecil seperti Segmen Satu. Secara keseluruhan, Segmen Satu dan Tiga menunjukkan variansi dan *errorbar* kecil, sedangkan Segmen Dua memiliki *errorbar* besar meskipun variansinya kecil. Hal ini mendukung analisis Gambar 6 bahwa terjadi perubahan pola *sea level anomaly*, terutama pada Segmen Dua di dekomposisi D4. Selain itu, perbedaan rata-rata *sea level anomaly* menunjukkan bahwa Segmen Satu memiliki rata-rata 0,05 meter,

Segmen Dua turun menjadi 0,01 meter, dan Segmen Tiga naik kembali menjadi 0,06 meter. Temuan ini menunjukkan adanya perubahan pola *sea level anomaly* berdasarkan *change point* yang ditemukan.

4. KESIMPULAN

Change point yang terdeteksi sebanyak dua waktu kejadian yaitu 19 Agustus 2018 dan 4 Mei 2019. Terdapat pola yang beragam hasil dekomposisi sinyal *sea level anomaly*. Pola *sea level anomaly* dipengaruhi oleh konstanta harmonik periode panjang yaitu Mm, Msm, Sta, Ssa, dan Sa, yang didominasi oleh Ssa dan Sa dengan *magnitude* yang besar. Tren *sea level anomaly* terhadap SOI memiliki hubungan yang cukup kuat/moderate (korelasi koefisien 0,5), yang berarti *sea level anomaly* di perairan utara Jawa memiliki keterkaitan terhadap ENSO. Terdapat perubahan pola yang terjadi pada Segmen Satu, Dua dan Tiga, disetiap level dekomposisi, terutama pada level dekomposisi D4. Walaupun memiliki nilai variansi yang kecil pada setiap segmen pada masing-masing level dekomposisi sebesar 0,001 m², perubahan pola tetap terlihat dari perubahan variansi *errorbar*. Terutama pada level dekomposisi D4, fluktuasi signifikan pada *errorbar* sebesar 92% dibandingkan dengan Segmen Satu dan Tiga menunjukkan adanya perubahan pola yang lebih jelas.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada berbagai pihak yang membantu penulis dalam menyelesaikan penelitian ini, kepada dosen pembimbing penulis ucapkan terima kasih sebesar-besarnya telah membantu, memberikan waktu, dan saran kepada penulis untuk penelitian ini, dan kepada teman-teman penulis yang secara tidak langsung telah membantu penulis dalam proses menyelesaikan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Handoko, E. Y., Filaili, R. B., & Yuwono. (2019). Analisa Fenomena Enso di Perairan Indonesia Menggunakan Data Altimetri Topex/Poseidon dan Jason Series Tahun 1993-2018. *Geoid*, 43-50.
- Hartanto, P., Nurmaulia, S. L., & Prijatna, K. (2013). Kontribusi Efek Eustatik dan Sterik Terhadap Perubahan Muka Air Laut Berdasarkan Data Satelit Altimetri Data Argo dan Sateilit Grace Pada Periode 1992-2022 (Wilayah Studi: Samudera Pasifik Bagian Barat). *Indonesian Journal Of Geospatial*, 1-16.
- Kantha, L. H. & Clayson, C. A. (2000). *Numerical Models of Oceans and Oceanic Processes*. Academic Press.
- Lee, M., & Lee, J. (2020). Long-term Trend Analysis of Extreme Coastal Sea Levels With Change point Detection. *Journal of Royal Statistical Society*, 434-458.
- Mathworks.com. Help Desk Center. Diakses pada 15 April 2024 dari <https://www.mathworks.com/help/wavelet/ug/wavelet-change point-detection.html>
- Novamaziyanti, L., & Kurnia, A. (2015). Analisis Perbandingan Kompresi Haar Wavelet Transform dengan Embedded Zerotree Wavelet pada Citra. *Jurnal Elkomika*, 161-176.
- Nugraha, A. D. (2023). *Analisis Keterkaitan Antara Waktu Banjir Rob dengan Fase Bulan, Waktu Bulan Perigee, dan Model Sea Level Anomaly Harmonik Jason-3 Tahun 2016-2022*. Bandung: Institut Teknologi Nasional Bandung.
- Ray, R. D. & Erofeeva, S. Y. (2014). Long-Period Tidal Variations in the Length of Day. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 1498-1509.
- Sripathi, D. (2003). Efficient Implementations of Discrete Wavelet Transforms Using Fpgas, Florida Stata University.