

IDENTIFIKASI SIFAT PERIODIK PADA POLA PERUBAHAN TINGGI MUKA AIR DI DANAU TOBA MENGGUNAKAN DATA SATELIT ALTIMETRI

FISKY DWINANDA¹, NI MADE RAI RATIH CAHYA PERBANI²

1. Institut Teknologi Nasional Bandung
 2. Institut Teknologi Nasional Bandung
- Email: Fiskydwinanda2001@gmail.com

ABSTRAK

Dilansir dari Kompas (2021) melaporkan bahwa tinggi muka air Danau Toba menurun drastis, membuat banyak dermaga tidak bisa digunakan bahkan PLTA terancam berhenti beroperasi. Perubahan tinggi muka air dapat dipengaruhi oleh faktor astronomis, faktor meteorologis, masa daratan dan bentuk dasar perairan yang dapat menghalangi gerakan air. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pola perubahan tinggi muka air dan identifikasi kemungkinan terjadinya sifat periodik di Danau Toba. Data yang digunakan adalah data tinggi muka air hasil pengamatan satelit altimetri Sentinel-3B tahun 2019-2023. Data tinggi muka air digunakan untuk mengidentifikasi sifat periodik menggunakan analisis harmonik kuadrat terkecil. Dari penelitian ini ditemukan bahwa pola perubahan muka air Danau Toba tidak dipengaruhi oleh konstanta S_a dan S_{sa} yang berasal dari faktor meteorologi seperti perubahan musiman pada angin, suhu, dan tekanan atmosfer. Dimungkinkan perubahan tinggi muka air Danau Toba dipengaruhi oleh konstanta MN yang disebabkan oleh gerak nutasi bumi akibat pengaruh bulan yang berusaha menarik bumi ke bidang orbit bulan dengan periode 18,6 tahun.

Kata kunci: Danau Toba, Altimetri, Sentinel-3B

1. PENDAHULUAN

Danau Toba adalah perairan daratan yang memiliki peran multisektoral, baik untuk kepentingan masyarakat lokal maupun kepentingan yang bersifat nasional. Potensi sangat besar dari perairan Danau Toba adalah air yang mengalir melalui inlet dan telah dimanfaatkan untuk pembangkit listrik tenaga air (PLTA) Sigura Pura yang memiliki kapasitas mencapai 286 megawatt dan telah beroperasi sejak tahun 1982 (Lukman, 2013). Menurut Lukman (2013) kondisi hidrologi Danau Toba ditandai dengan air masuk yang berasal dari hujan dan langsung jatuh ke perairan danau, serta air dari sungai yang mengalir ke danau. Kondisi hidrologi Danau Toba tersebut akan menciptakan fluktuasi tinggi muka air yang berbeda dan harus menjadi pertimbangan dalam pemanfaatannya. Permasalahan yang terjadi adalah potensi jumlah air tersebut diperkirakan terancam dengan adanya indikasi penurunan muka air dari tahun ke tahun (Sihotang dkk., 2012).

Ketinggian muka air di daratan dan dinamikanya merupakan komponen utama dalam siklus air global dan hidrologi permukaan tanah, yang secara signifikan memengaruhi variabilitas iklim dan

pengelolaan sumber daya air. Menurut Muldiyatno dkk. (2016) perubahan muka air merupakan fenomena perairan, dimana perubahan tingginya selalu berbeda pada setiap waktu dan tempatnya. Perubahan muka air dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu, faktor astronomis yang utamanya disebabkan oleh bulan dan matahari, faktor meteorologi seperti hujan, masa daratan dan bentuk dasar perairan yang dapat menghalangi gerakan air. Pada perubahan muka air di danau disebabkan oleh faktor hidrologi seperti curah hujan, penguapan, aliran masuk anak sungai, pembuangan, dan perkolasi ke bawah air tanah di daerah aliran sungai danau (Yasuda dkk., 2022).

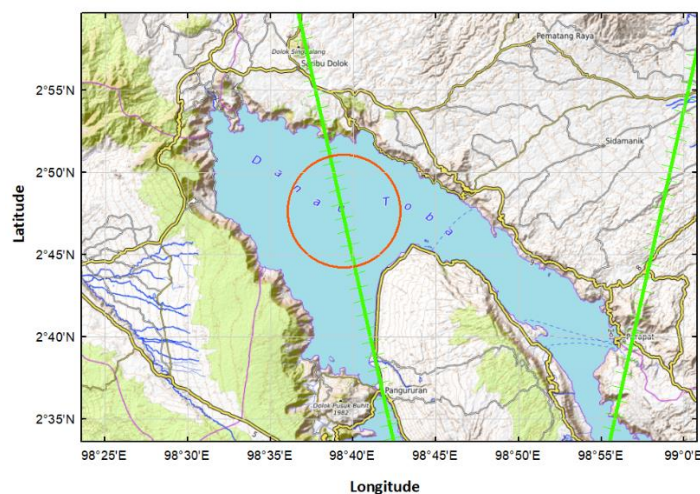
Pemantauan tinggi muka air daratan atau *inland water level* dapat memanfaatkan teknologi penginderaan jauh. Menurut Kossieris dkk. (2024) satelit altimetri dapat memberikan informasi mengenai *water surface height* dan merupakan teknik dominan untuk pemantauan permukaan air pedalaman serta dapat menyediakan time series tinggi muka air daratan selama hampir tiga dekade terakhir. Penginderaan jauh berbasis ruang angkasa dianggap sebagai teknik yang hemat biaya dan memberikan pengukuran cakupan secara global dan memiliki akurasi yang homogen dibandingkan dengan sensor *in-situ*. Prinsip kerja dari satelit altimetri sangat sederhana yaitu mengukur jarak antara permukaan air dengan satelit (Gastecu, 2009). Penggunaan satelit altimetri untuk pengukuran tinggi muka air daratan bisa digunakan apabila tidak adanya stasiun pasut di danau atau sungai, area yang sulit dijangkau atau data pasut yang bersifat rahasia (Saifudin, 2020).

Dalam penelitian ini dilakukan sampling data *water surface height* menggunakan satelit altimetri Sentinel-3B SRAL Land Level-2, kemudian dilakukan identifikasi kemungkinan terjadinya sifat periodik pada pola perubahan tinggi muka air hasil pengamatan satelit altimetri dari tahun 2019-2023.

2. METODOLOGI

2.1 Lokasi Penelitian

Penelitian ini terletak di Danau Toba, Provinsi Sumatera Utara secara geografis terletak di antara koordinat $2^{\circ}21'32'' - 2^{\circ}56'28''$ LU dan $98^{\circ}26'35'' - 99^{\circ}15'40''$ BT. Pada area penelitian dilalui oleh orbit satelit Sentinel-3B dengan pass number 535.



Gambar 1. Lokasi Penelitian

2.2 Data Penelitian

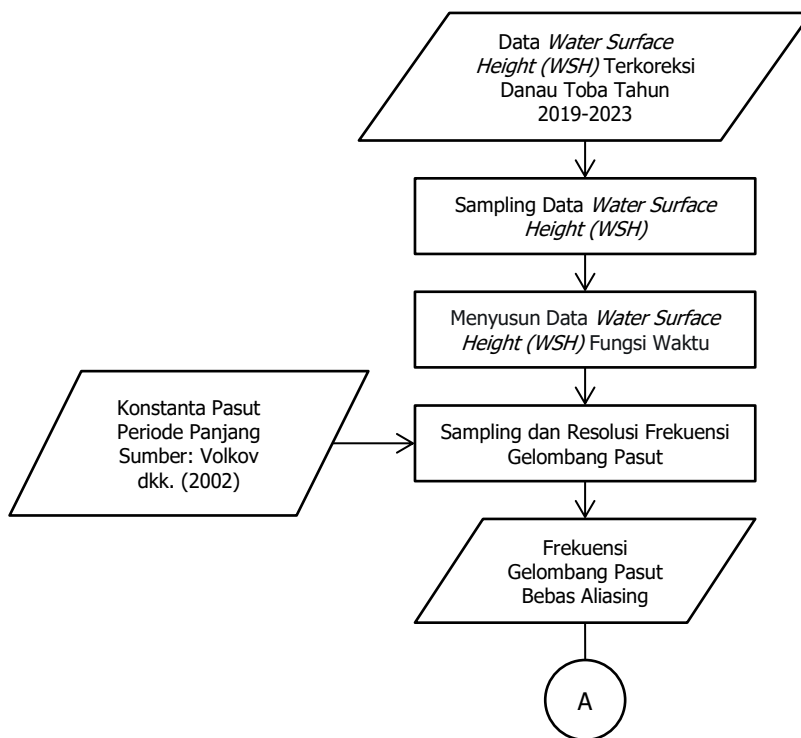
Data yang digunakan untuk menunjang penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Data Yang Digunakan

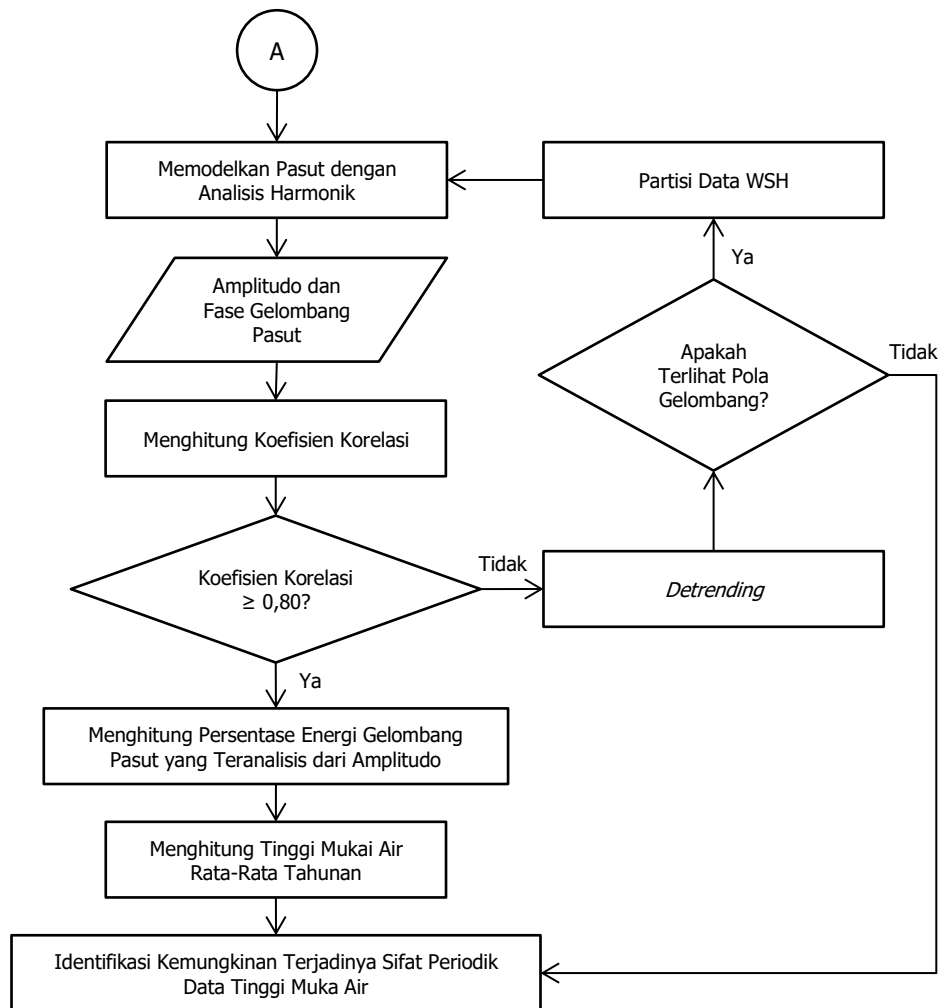
Data	Sumber
Data satelit altimetri Sentinel-3B SRAL Land Level-2 tahun 2019-2023	Diunduh melalui situs https://browser.dataspace.copernicus.eu
Konstanta Pasut Periode Panjang	Volkov dkk. (2002)

2.3 Pelaksanaan Penelitian

Adapun tahapan pelaksanaan pengolahan data penelitian dapat dilihat pada Gambar berikut ini.



Gambar 2. Diagram Alir Penelitian



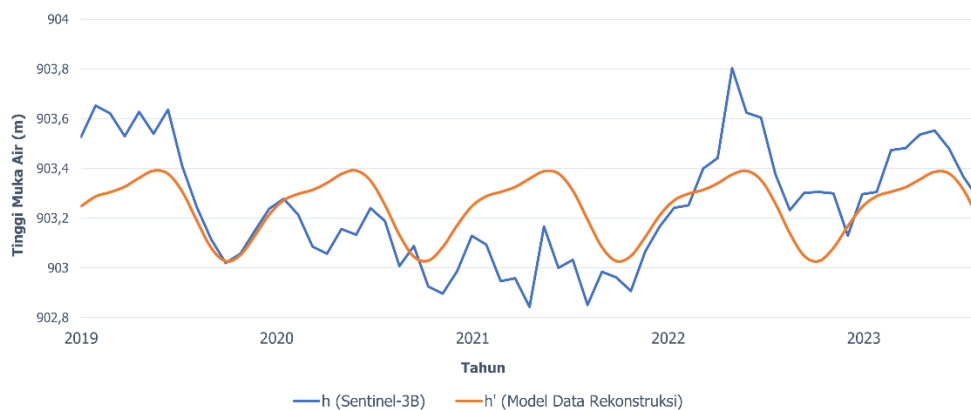
Gambar 3. Diagram Alir Penelitian (Lanjutan)

3. HASIL DAN ANALISIS

3.1 Analisis Terjadinya Sifat Periodik Data Tinggi Muka Air

Informasi mengenai karakteristik dan sifat pasut dapat diperoleh setelah melakukan analisis harmonik pasut yang menghasilkan nilai konstanta harmonik pasut (Julianto dkk., 2021). Pada penelitian ini digunakan pengamatan altimetri Sentinel-3B dengan waktu pengulangan pengamatan selama 27 hari dengan panjang pengamatan 1620 hari atau 38880 jam. Panjang pengamatan akan menentukan frekuensi terendah dan resolusi untuk memisahkan konstanta-konstanta pasut (Perbani, 2010). Dari batasan frekuensi tersebut gelombang yang dapat teranalisis, yaitu satu siklus per tahun (S_a) dan satu siklus per setengah tahun (S_{sa}). Menurut Parker (2007) energi pada siklus per tahun (S_a) dan siklus per setengah tahun (S_{sa}) berasal dari faktor meteorologi, yaitu disebabkan oleh perubahan musiman pada angin, suhu, dan tekanan atmosfer yang mempengaruhi permukaan air.

Hasil analisis harmonik menggunakan konstanta pasut S_a dan S_{sa} , antara data pengamatan dan model data rekonstruksi memiliki nilai koefisien korelasi sebesar 0,50 dapat dikatakan memiliki tingkat hubungan yang cukup rendah dan tidak berkorelasi. Pada Gambar 3 menunjukkan model data rekonstruksi sangat tidak mewakili pola perubahan muka air tahunan, artinya fluktuasi permukaan air tidak disebabkan oleh faktor musiman yang disebabkan oleh angin, suhu, dan tekanan atmosfer. Gambar 3 menunjukkan pada tahun 2021 tinggi muka air mengalami penurunan kemudian pada tahun 2022 terjadi kenaikan kembali, maka dimungkinkan pada fluktuasi permukaan air Danau Toba terdapat sifat periodik.

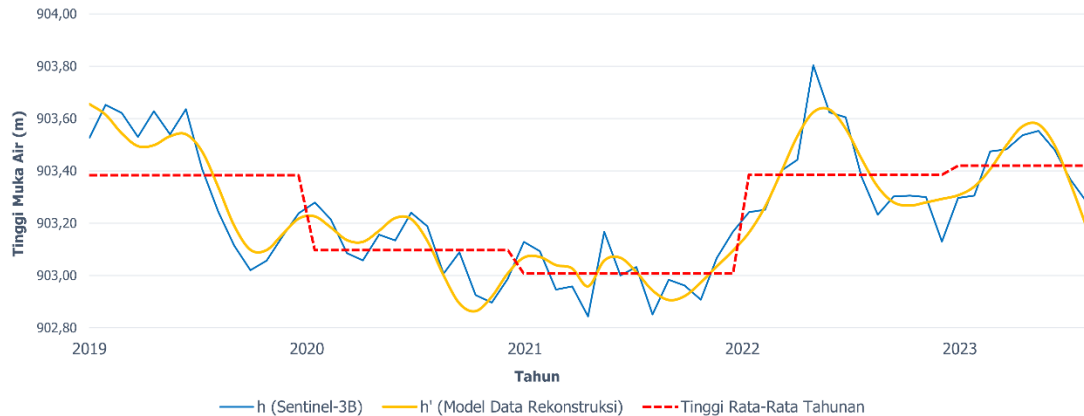


Gambar 3. Hasil Pemodelan Analisis Harmonik

Fenomena akibat *seiche* dapat terjadi di danau atau pada cekungan tertutup dan semi-tertutup yang membentuk standing wave dengan periode 0,5-30 menit (MacMahan, 2015). *Seiche* terjadi akibat efek meteorologis seperti angin dan variasi tekanan atmosfer atau tsunami dengan periode yang sangat cepat sekali bukan perubahan jangka panjang dan bukan fenomena yang terjadi secara periodik seperti pasang surut. Pada perubahan tinggi muka air Danau Toba mungkin saja terjadi seiche, namun pada penelitian ini fenomena *seiche* tersebut tidak dapat terdeteksi karena seiche merupakan fenomena dengan periode yang sangat singkat sedangkan data yang digunakan pada penelitian ini memiliki resolusi temporal 27 hari. Namun, dengan data pengamatan altimetri kita dapat melihat pengaruh jangka panjang serta data tersedia secara kontinu, seperti gelombang periode panjang.

Detrending adalah proses menghilangkan tren dari data deret waktu dalam rangka memastikan kestasioneran data, untuk memodelkan tren digunakan konstanta pasut periode panjang yaitu MN , S_a dan S_{sa} . Detrending dilakukan secara parsial dengan mempartisi data pengamatan. Analisis harmonik yang dilakukan bukan untuk analisis pasut tapi hanya untuk memodelkan tren saja. Dari hasil detrending tersebut koefisien korelasi data pengamatan altimetri dan model data rekonstruksi sebesar 0,95 mendekati satu, dapat dikatakan memiliki hubungan sangat kuat positif. Pada hasil hitungan persentase energi terlihat bahwa konstanta MN pada bagian satu memiliki energi sebesar 92,53% dan pada bagian dua sebesar 96,16%, dapat dikatakan bahwa gelombang yang paling dominan menyumbangkan energi pembentuk pasut adalah konstanta MN , sedangkan S_a dan S_{sa} memiliki pengaruh yang tidak begitu signifikan. Konstanta MN merupakan gelombang yang terbentuk oleh gerak nutasi bumi akibat pengaruh bulan yang berusaha menarik bumi ke bidang orbit bulan dengan periode 18,6 tahun. Namun, konstanta MN tidak dapat terekstraksi

menggunakan metode *discrete fourier transform* (DFT) karena data yang tersedia tidak cukup panjang untuk mengakomodir data 18,6 tahun.



Gambar 4. Model Data Rekonstruksi Hasil Detrending

Gambar 4 menunjukkan tinggi rata-rata tahunan pola perubahannya mengikuti gelombang MN. Hal ini memperlihatkan bahwa kenaikan yang terjadi di tahun 2022 dimungkinkan merupakan bagian dari periode pergerakan nutasi bumi akibat pengaruh bulan yang berusaha menarik bumi ke bidang orbit bulan dengan periode 18,6 tahun. Dari hasil penelitian ini dapat dimanfaatkan untuk memprediksi kapan terjadinya level terendah tinggi muka air untuk dilakukan mitigasi seperti rekayasa cuaca yang dilakukan oleh BPPT agar tinggi muka air Danau Toba tidak sampai ke level batas minimum yang dapat mengganggu keberlangsungan pembangkit listrik tenaga air (PLTA) dan transportasi dari bahaya pendangkalan yang dapat merubah jalur pelayaran.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang dilakukan dapat disimpulkan bahwa pola perubahan tinggi muka air tidak dipengaruhi oleh konstanta dengan siklus per tahun (S_a) dan siklus per setengah tahun (S_{sa}) yang berasal dari faktor meteorologi yaitu disebabkan oleh perubahan musiman pada angin, suhu, dan tekanan atmosfer. Terdapat kemungkinan terjadinya sifat periodik yang dipengaruhi oleh konstanta MN, berasal pergerakan nutasi bumi akibat pengaruh bulan yang berusaha menarik bumi ke bidang orbit bulan dengan periode 18,6 tahun.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya disampaikan kepada seluruh pihak yang membantu dalam proses penelitian ini khususnya Ibu Ni Made Rai Ratih Cahya Perbani selaku dosen pembimbing yang telah banyak membantu dan memberi masukan selama penelitian ini berlangsung.

DAFTAR RUJUKAN

- Gastecu, P. (2009). Limnology, Lake Basins, Lake Waters. *Lakes reservoirs and ponds*, 3(1), 7–12.
- Julianto, R., Prijatna, K., & Nadzir, Z. A. (2021). *Analisis Harmonik Pasang Surut Laut Menggunakan Data Stasiun Pasut dan Data Satelit Altimetri Jason-2 (Studi Kasus: Perairan Pesisir Barat Lampung)*. Institut Teknologi Sumatera.
- Kompas. (2021). *Tinggi Muka Air Danau Toba Menurun Drastis, Modifikasi Cuaca Dilakukan*. <https://www.kompas.id/baca/nusantara/2021/04/07/tinggi-muka-air-danau-toba-menurun-drastis-modifikasi-cuaca-dilakukan>
- Kossieris, S., Tsiakos, V., Tsimiklis, G., & Amditis, A. (2024). Inland Water Level Monitoring from Satellite Observations: A Scoping Review of Current Advances and Future Opportunities. *Remote Sensing*, 16(7), 1181. <https://doi.org/10.3390/rs16071181>
- Lukman. (2013). *DANAU TOBA - Karakteristik Limnologi dan Mitigasi Ancaman Lingkungan dari Pengembangan Karamba Jaring Apung* (F. Suhendra, Ed.). LIPI Press.
- MacMahan, J. (2015). Low-Frequency Seiche in a Large Bay. *Journal of Physical Oceanography*, 45(3), 716–723. <https://doi.org/10.1175/JPO-D-14-0169.1>
- Muldiyatno, F., Djunarsjah, E., Adrianto, D., & Pranowo, W. (2016). Kajian Awal Perubahan Muka Air Sungai Untuk Penentuan Datum Peta (Studi Kasus Sungai Musi Palembang). *Jurnal Chart Datum*.
- Parker, B. B. (2007). *Tidal Analysis and Prediction*. National Oceanic and Atmospheric Administration.
- Perbani, N. M. R. R. C. (2010). Studi Prosedur Dealiasing untuk Deteksi Konstanta Pasut Dominan. *Jurnal Rekayasa Institut Teknologi Nasional*, XIV(4), 165–175.
- Saifudin, A. (2020). *Penggunaan Data SAR-Mode Cryosat-2 untuk Penentuan Inland Water Level (Studi Kasus: Danau Towuti, Sulawesi Selatan)*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Sihotang, H., Purwanto, M. Y. J., Widiatmaka, & Basuni, S. (2012). Model Konservasi Sumberdaya Air Danau Toba. *Jurnal Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan*, 2(2), 65–72.
- Volkov, V. A., Johanessen, O. M., Borodachev, V. E., Noinov, G. N., Pettersson, L. H., Bobylev Leonid P., & Kouraev, A. V. (2002). *Polar seas oceanography: an integrated case study of the Kara Sea*. Springer : Praxis Publishing.
- Yasuda, H., Fenta, A. A., Berihun, M. L., Inosako, K., Kawai, T., & Belay, A. S. (2022). Water level change of Lake Tana, source of the Blue Nile: Prediction using teleconnections with sea surface temperatures. *Journal of Great Lakes Research*, 48(2), 468–477. <https://doi.org/10.1016/j.jglr.2022.01.006>