



KAJIAN SISTEMATIS METODE ANALISIS GELOMBANG PASANG SURUT UNTUK SISTEM PENDETEKSI TSUNAMI DALAM RAGAM LITERATUR

Melyana^{1)*}, Wahyu Cesar¹⁾, Deni Mahdiana¹⁾

¹ Program Studi Magister Ilmu Komputer Universitas Budi Luhur, Jakarta, Indonesia
Email: 2211600214@student.budiluhur.ac.id

Abstrak

Indonesia merupakan negara yang rentan akan terjadinya bencana gempa bumi, hal ini dikarenakan Indonesia dilalui oleh jalur tiga lempeng tektonik. Ketiga lempeng tektonik jalur pertemuan tersebut mayoritas ada di laut sehingga jika terjadi gempa bumi yang besar pada kedalaman laut dangkal akan berpotensi menimbulkan bencana tsunami. Analisis yang akurat terhadap ketinggian gelombang pasang surut air laut untuk mendeteksi bencana tsunami merupakan tugas yang penting untuk menjaga keamanan juga keselamatan penduduk di sekitar wilayah laut dan pesisir. Metode analisis gelombang pasang surut yang cepat dan akurat dapat memberikan peringatan awal potensi terjadinya tsunami kepada populasi manusia untuk menyelamatkan nyawa. Tujuan penelitian ini melakukan tinjauan literatur sistematis untuk membandingkan metode analisis gelombang pasang surut untuk pendeteksi tsunami terkini yang cukup akurat dari berbagai literatur untuk digunakan sebagai informasi pendukung dalam rancangan sistem pendukung keputusan pada sistem peringatan dini tsunami di Indonesia. Penelitian ini dimaksudkan untuk memberikan data perbandingan hasil tinjauan metode pendeteksi tsunami kepada komunitas peneliti serta praktisi terkait dengan cakupan yang luas terkait konsep, akurasi, serta kelebihan dan kekurangan dari metode sistem pendeteksi tsunami yang menjanjikan keberhasilan di masa depan.

Kata kunci: gelombang pasang surut; kajian sistematis; tsunami.

SYSTEMATIC REVIEW OF TIDAL WAVE ANALYSIS METHODS FOR TSUNAMI DETECTION SYSTEMS IN VARIOUS LITERATURE

Abstract

Indonesia is the countries that is prone to earthquakes, this is because Indonesia is traversed by three (3) tectonic plates. The majority of the three tectonic plates where the meeting point is in the sea so that if a large earthquake occurs at shallow sea depths it will have the potential to cause a tsunami. Accurate analysis of the height of the tidal waves to detect a tsunami disaster is an important task to maintain security as well as the safety of residents around the sea and coastal areas. Fast and accurate tidal wave analysis methods can provide human populations with early warning of a potential tsunami to save lives. The aim of this study is to conduct a systematic literature review to compare tidal wave analysis methods for the latest tsunami detectors which are sufficiently accurate from various literatures to be used as supporting information in the design of a decision support system for a tsunami early warning system in Indonesia. This research is intended to provide comparative data on the results of reviews of tsunami detection methods to the research community and related practitioners with a broad scope regarding the concept, accuracy, and advantages and disadvantages of the tsunami detection system method which promises success in the future.

Keywords: tidal waves; systematic review; tsunami.

Submitted: 13 Maret 2023

Reviewed: 25 Maret 2023

Accepted: 12 Juli 2023

Published: 16 Juli 2023

PENDAHULUAN

Negara Indonesia merupakan negara yang rentan terjadinya bencana gempa bumi karena dilalui oleh jalur pertemuan tiga lempeng tektonik, yaitu: lempeng Indo-Australia, lempeng Eurasia, dan lempeng Pasifik (Reba, 2022). Jalur pertemuan ketiga lempeng tektonik ini mayoritas ada di laut sehingga apabila terjadi gempa bumi yang besar pada kedalaman laut dangkal maka berpotensi menimbulkan bencana gelombang tsunami. Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB) telah mencatat bahwa dalam kurun waktu sepuluh (10) tahun antara tahun 2005 hingga tahun 2015 terjadi sekitar 3810 bencana yang merupakan bencana geologi (Kurniasih dkk., 2020). Bencana yang terjadi terdiri dari gempa bumi, tsunami, letusan gunung merapi, dan tanah longsor. Jumlah ini telah menyusun kurang lebih 22% dari total keseluruhan kejadian bencana alam yang terjadi pada periode tersebut. Apabila dilihat dari angka kejadiannya, bencana geologi tidak sering terjadi dibandingkan dengan bencana alam lainnya. Jika dilihat dari dampak yang ditimbulkan, maka bencana geologi khususnya gempa bumi dan tsunami memberi dampak yang lebih besar (Artawan & Purnamawan, 2015). Menurut hasil kajian risiko bencana oleh BNPB pada tahun 2015, bahwa jumlah jiwa yang terancam bahaya tsunami melebihi sebanyak 4 juta jiwa dan ancaman kerugian aset sebesar kurang lebih sebesar 71 triliun rupiah. Analisis yang akurat gelombang pasang surut air laut untuk mendeteksi bencana tsunami adalah tugas penting untuk menjaga keamanan serta keselamatan penduduk di sekitar wilayah laut dan pesisir. Metode analisis yang akurat dapat menghasilkan peringatan cepat kepada manusia untuk menyelamatkan nyawa (Indriasari et al., 2015).

Mulai tahun 2008, Indonesia telah memiliki teknologi untuk sistem peringatan awal dari bencana tsunami yaitu *Tsunami Early Warning System* (Lauterjung & Letz, 2017). Prinsip kerja sistem TEWS yaitu pada saat terindikasi ada gempa bumi yang besar diperkirakan berpotensi terjadinya bencana tsunami, lalu informasi peringatan awal tersebut akan segera diinformasikan kepada masyarakat dalam kurun waktu kurang dari 5 menit. Data dan parameter terkait gempa bumi yang terjadi ini menjadi parameter masukan dalam sistem pengambilan keputusan (UNDRR and UNESCO-IOC, 2019) yang akan mengeluarkan hasil analisa atau prediksi tsunami dari model perhitungan yang sumber datanya berasal dari peralatan pengamat perubahan tinggi muka (pasang surut) air laut seperti buoy yang mampu mengirim data melalui satelit atau GPS (Kato dkk., 2005) yaitu peralatan sensor akustik yang mengapung di permukaan laut dan selain itu terdapat OBU (Ocean Bottom Unit) yaitu peralatan yang berada di dasar laut digunakan sebagai alat untuk mengkonfirmasi terjadinya tsunami hasil kerja sama Indonesia-Jerman (Rudloff et al., 2009).

Fenomena pemicu terjadinya bencana tsunami tidak hanya dari gempa bumi, untuk bisa mengatasi hal ini sistem peringatan awal tsunami harus mempertimbangkan tidak hanya data kejadian gempa bumi, tapi juga data pemantauan perubahan tinggi permukaan pasang surut air laut (*tidal wave*) sebagai data utama yang mengeluarkan berita peringatan awal tsunami karena sampai saat ini hanya pemantauan perubahan tinggi muka air laut secara langsung yang dapat memberi konfirmasi tsunami secara aktual. Pemantauan perubahan muka air laut juga perlu dibarengi dengan penerapan algoritma pendeteksi otomatis sehingga bisa menginformasikan kedatangan tsunami secara cepat kepada masyarakat.

Terdapat banyak sekali metode analisis atau algoritma pendeteksi tsunami yang dikembangkan di seluruh dunia hingga saat ini. Studi literatur metode analisis gelombang pasang surut air laut untuk algoritma pendeteksi tsunami yang akurat sangat diperlukan, tujuannya adalah agar dapat dijadikan acuan yang dapat digunakan sebagai konsep dasar untuk merancang perangkat lunak pendukung keputusan peringatan dini bencana tsunami Indonesia (TEWS).

Tujuan dari penelitian ini adalah melakukan tinjauan literatur sistematis (Xiao & Watson, 2019) untuk membandingkan metode analisis gelombang pasang surut air laut yang akurat

untuk dijadikan acuan yang dapat digunakan sebagai konsep dasar untuk merancang perangkat lunak pendukung keputusan (*Decision Support System*) peringatan bencana tsunami.

METODE

Pada penelitian ini dilakukan tinjauan literatur sistematis terkait metode analisis gelombang pasang surut untuk sistem pendeteksi tsunami terkini (dari tahun 2014 – 2021) yang terdapat pada Tabel 1. Tabel 1 menjelaskan terkait tinjauan terhadap metode, subjek, periode representasi tsunami, akurasi prediksi gelombang, delay waktu prediksi, dan jumlah deteksi yang diukur berdasarkan pengujian. Beberapa metode analisis yang digunakan sebagai berikut:

Tabel 1. Tinjauan Literatur Metode Analisis Pendeteksi Tsunami

Penulis	Analisis	Hasil
M. D. Risio, G.M. Beltramia (2014) (Di Risio & Beltrami, 2014)	Metode	<i>Tsunami Detection Algorithm</i> (TDA)
	Subjek	Tsunami meter program DART
	Periode representasi tsunami	Gempa bumi: 1. Lepas pantai Chile, 27 Februari 2010 2. Pacific Coast of Tohoku (Jepang), 11 Maret 2011
	Akurasi prediksi gelombang	Representasi tsunami yang tepat dengan periode dalam <i>range</i> 2-30 menit
F. Chierici, D. Embriaclo, and L.Pignagnoli (2017) (Chierici dkk., 2017)	Metode	<i>Tsunami Detection Algorithm</i> (TDA)
	Subjek	Rekaman DART stasiun D165_2001 dan D125_2002 dan GEOSTAR-NEAREST_2009 <i>pressure data set</i> (GEOS)
	Periode representasi tsunami	Haida Gwaii 28 Oktober 2012
	Akurasi prediksi gelombang	Mendeteksi 40% tsunami dalam kuartal pertama periodenya dan 60% sisanya dalam periode paruh pertama dengan hasil yang lebih baik
C. An , H. Liu, Z. Ren , dan Y. Yuan (2018) (An dkk., 2018)	Metode	<i>Uniform Slip Model</i>
	Subjek	<i>data</i> GEBCO_2014(<i>General Bathymetric Chart of the Oceans</i>)
	Periode representasi tsunami	<i>Tsunami</i> : 1. 2011 Tohoku 2. 2014 Iquique 3. 2015 Illapel
	Akurasi prediksi gelombang	Prediksi gelombang tsunami berakurasi tinggi jika dikonstruksi dengan sesuai
	Metode	<i>Offshore Bottom Pressure Gauges</i> (OBPGs) and TDA

Penulis	Analisis	Hasil
M. Heidarzadeh, Y., dkk (2020) (Wang, Heidarzadeh, dkk., 2020)	Subjek Periode representasi tsunami Akurasi prediksi gelombang	<i>Bathymetric Charts of the Oceans</i> (GEBCO, Weatherall et al. 2015) Tsunami 21 May 2003 Algeria, Afrika Utara Rentang akurasi perkiraan tsunami 69-85% untuk 4 skenario OBPG
Y. Wang, K. Satake, T. Maeda, M. Shinohara, and S. Sakai (2020) (Wang, Satake, dkk., 2020)	Metode Subjek Periode representasi tsunami Akurasi prediksi gelombang	<i>Ensemble Empirical Mode Decomposition</i> (EEMD) <i>General Bathymetric Chart of the Oceans</i> dirilis 2014 (GEBCO_2014; Weatherall et al., 2015). Gempa bumi: 1. Fukushima (M 7.4) 2016 2. Tohoku (M 9.0) 2011 3. Sanriku (M 6.4) 1998 Periode gelombang tsunami sekitar 10 menit
Y. Kusumah, B. Irawan, dkk (2020) (Kusumah dkk., 2020)	Metode Subjek Periode representasi tsunami Akurasi prediksi gelombang	<i>Decision Tree C4.5 Algorithm</i> 2691 data dari BMKG Pantai Pangandaran 2019 Akurasi sekitar 98-100%
G. I. Rusydy, B. Irawan, dkk (2020) (Rusydy dkk., 2020)	Metode Subjek Periode representasi tsunami Akurasi prediksi gelombang	Algoritma KNN (<i>K-Nearest Neighbour</i>) Data latih atribut Ketinggiangelombang dan Kecepatan gelombang Indonesia Akurasi yang didapat tidak cukup efektif
T. Chen , N. Kapron, dan J. C. Y. Chen	Metode Subjek	<i>Evolutionary algorithm</i> dan <i>Artificial Neural Network</i> (ANN) Stasiun meteorologi di Mekong 1996-2005

Penulis	Analisis	Hasil
(2020) (Chen dkk., 2020)	Periode representasi tsunami	Mekong, Vietnam
	Akurasi prediksi gelombang	Mampu memprediksi variasi waktu meteorologi tsunami, dan topologi terbaik
Fauzi, A., Mizutani, N. (2020)	Metode Pembelajaran Mesin	Convolutional Neural Network (CNN), Multilayer Perceptron sangat cepat (kurang dari 1 detik) dan sebanding dengan pemodelan maju nonlinier. Oleh karena itu, metode yang diusulkan dapat digunakan sebagai model deterministik untuk simulasi real-time.
Liu, C.M., Rim, D., Baraldi, R. et al. (2021).	Metode Pendekatan Pembelajaran Mesin dengan membandingkan Algoritma	deep convolutional neural networks, a denoising autoencoder and a variational autoencoder Model <i>Machine Learning</i> mampu memberikan prediksi yang sangat baik dari pengamatan berdurasi pendek, bahkan ketika terpotong sebelum puncak gelombang pertama mencapai titik pengamatan
S. A. Suprijono, C. Setianingsih, dkk (Suprijono dkk., 2021)	Metode Subjek Periode representasi tsunami	Algoritma <i>Fuzzy Sukamoto</i> 50 data <i>real</i> yang telah divalidasi BMKG Indonesia
	Akurasi prediksi gelombang	Mampu memberikan peringatan dengan presentase 92%
	Delay waktu prediksi	
	Jumlah deteksi	
S. P. D. Sriyanto, P. A. Angmalisang, dkk (2021) (Sriyanto dkk., 2021)	Metode Subjek Periode representasi tsunami	TEDA (<i>Tsunami Early Detection Algorithm</i>) Data historis tsunami antara tahun 2007-2019. Tsunami Padang, 6 April 2012, Sibolga, 11 April 2012, Bitung, 14 November 2019
	Akurasi prediksi gelombang	spike sebanyak 409 dapat dieliminasi hingga 54,52 %, kekosongan data berhasil 100 % diisi

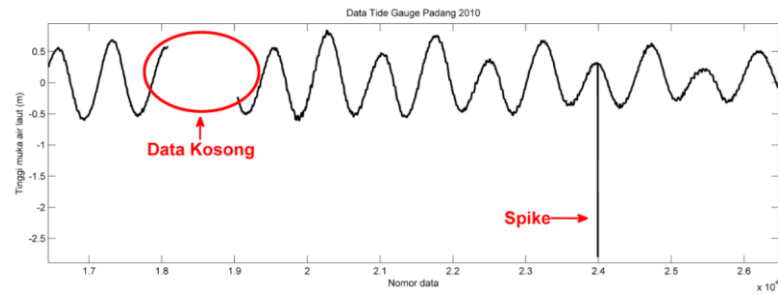
Berdasarkan Tabel 1, metode pendeteksi tsunami menggunakan algoritma deteksi *Tsunami TDA* memiliki akurasi yang relatif cukup efektif namun masih terkendala terkait range waktu deteksi (2-30 menit) dan kemampuan dalam eliminasi spike dan pengisian data kosong. Pada algoritma *Uniform Slip Model*, *Offshore Bottom Pressure Gauges* (OBPGs), *Ensemble Empirical Mode Decomposition* (EEMD), Decision Tree C4.5 Algorithm, Algorithm, Evolutionary algorithm dan Artificial Neural Network (ANN) memiliki akurasi yang tinggi dalam mendeteksi sinyal Tsunami hanya saja perlu dilakukan konstruksi yang sesuai dengan metode tertentu dan skenario yang tepat. Sedangkan algoritma KNN masih memiliki akurasi yang kurang efektif untuk mendeteksi tsunami. Pada penggunaan Fuzzy Sukamoto memiliki nilai akurasi 92% dari hasil uji 50 data real yang telah divalidasi oleh BMKG.

Algoritma pendeteksi tsunami terkini di tahun 2021 yaitu TEDA (*Tsunami Early Detection Algorithm*) yang terdiri dari sub algoritma eliminasi spike, pengisian data kosong, dan pendeteksi tsunami, berdasarkan data historis tide gauge saat terjadi tsunami antara tahun 2007-2019 mampu mendeteksi 7 dari 10 sinyal tsunami dengan terlebih dahulu melakukan perbaikan data akibat spike dan data kosong. Gangguan spike sebanyak 409 berhasil dieliminasi hingga 54,52%, sedangkan gangguan berupa kekosongan data berhasil 100% diisi menggunakan algoritma pengisian data kosong. Namun, algoritma deteksi ini masih memiliki kekurangan dalam hal kecepatan deteksi karena secara rata-rata terjadi keterlambatan deteksi tsunami hingga 7,7 menit. Namun metode ini memiliki akurasi yang kurang baik dalam mendeteksi tsunami pada beberapa kondisi data spike yang terlalu tinggi karena dapat dianggap sebagai data tsunami.

Metode pendeteksi lainnya yaitu analisis Jaringan Syaraf Tiruan (Artificial Neural Network) (Reforgiato et al., 2013) yang dalam teorinya dapat memprediksi tingkat pasang surut per jam, harian, mingguan atau bulanan lebih akurat. Metode analisis Jaringan Syaraf Tiruan (Artificial Neural Networks) dapat digunakan untuk mengukur tingkat keakuratan sistem pengambilan keputusan DSS (*Decision Support System*). Jaringan Syaraf Tiruan atau *Artificial Neural Networks* (ANN) yang dibuat perlu terus dilakukan pengujian dan pengenalan beberapa sampel baru. Sampel baru ini bukan merupakan jenis sampel yang telah dilatihkan ke jaringan. Dengan demikian dapat diketahui seberapa akurat Jaringan Syaraf Tiruan ini dalam mengenali gelombang gempa yang berpotensi tsunami atau tidak. Secara umum, metode Jaringan Saraf Tiruan atau *Artificial Neural Networks* (ANN) adalah sistem matematika, yang dapat memodelkan kemampuan jaringan saraf biologis dengan menghubungkan banyak neuron sederhana (Prathama, 2018). Neuron menerima input dari satu atau beberapa sumber dan menghasilkan output dengan pemrosesan sederhana dengan fungsi non-linier.

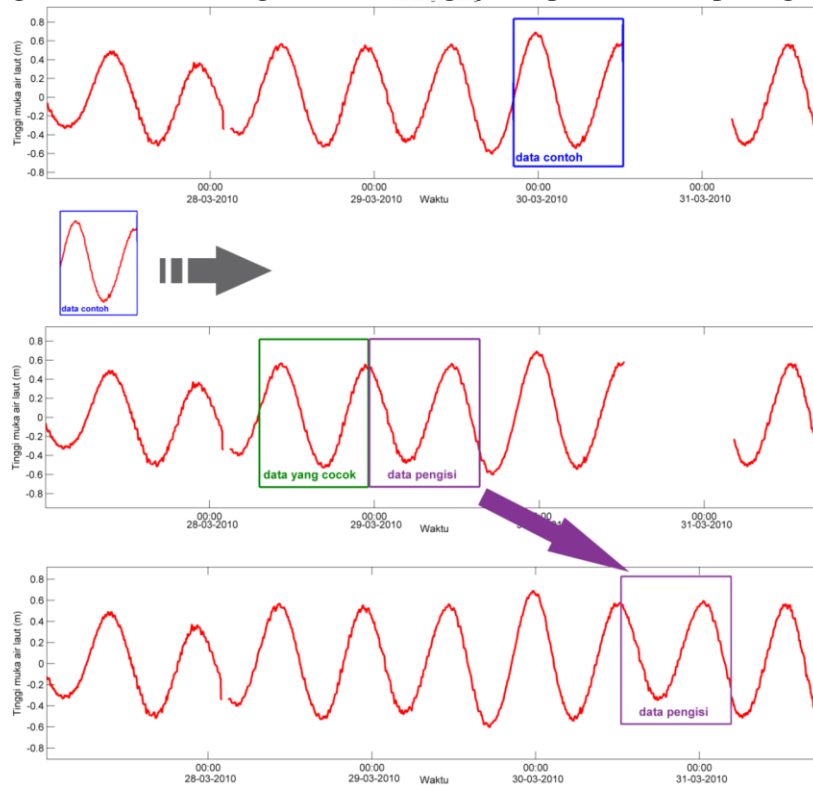
HASIL DAN PEMBAHASAN

Metode analisis gelombang pasang surut untuk pendeteksi tsunami yang banyak digunakan berdasarkan hasil survei artikel atau makalah yang telah dilakukan oleh penulis antara lain menggunakan algoritma filter gelombang pasang surut (*tidal-wave filtering*) terkini dengan menggunakan algoritma yang disebut TEDA (*Tsunami Early Detection Algorithm*) dan beberapa metode lainnya. Metode analisis penerapan algoritma deteksi TEDA ini bergantung dengan kelengkapan dataset waktu pengamatan tinggi muka air laut. Kenyataannya data ini biasanya banyak kosong akibat dari galat perangkat elektronik peralatan. Selain data yang kosong, faktor elektronik juga menyebabkan gangguan berupa penyimpangan data atau *spike*. Konsep algoritma TEDA adalah dengan menghilangkan *spike* data gelombang pasang surut dengan menggunakan *Band-Pass filter* dan melakukan interpolasi pengisian data kosong.



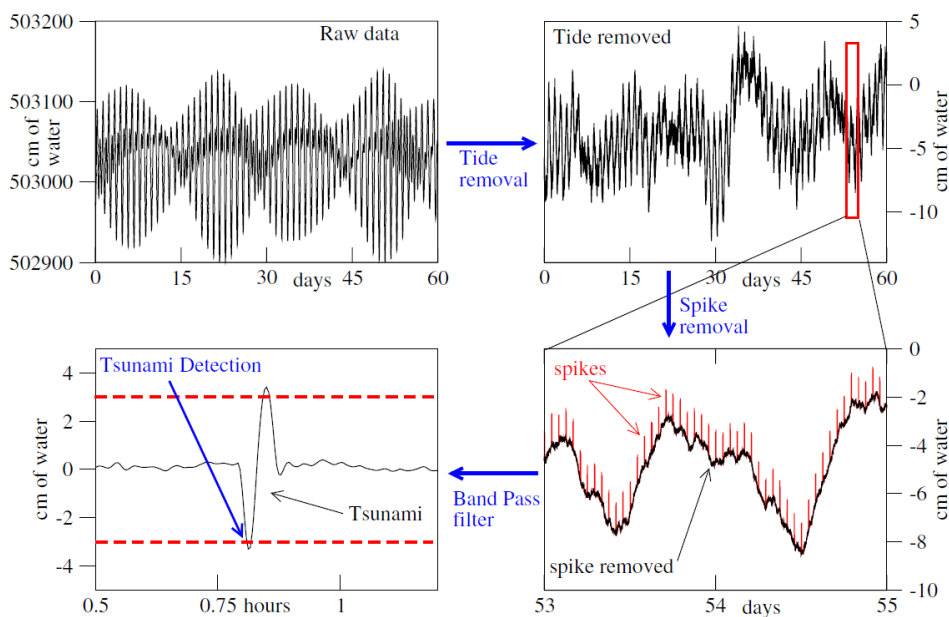
Gambar 3. Data observasi yang terganggu oleh spike dan data kosong

Data historis hasil pengamatan gelombang pasang surut permukaan air laut yang digunakan pada peralatan sistem pendeteksi tsunami sebagian besar dapat terganggu oleh faktor *noise* peralatan yaitu dalam bentuk *spike* dan data kosong. Gangguan *spike* hampir selalu ada pada tiap dataset yang dianalisis (Sriyanto dkk., 2021). Gangguan data kosong juga ada pada tiap dataset dengan berbagai rentang waktu kosongnya, seperti terlihat pada gambar 3.



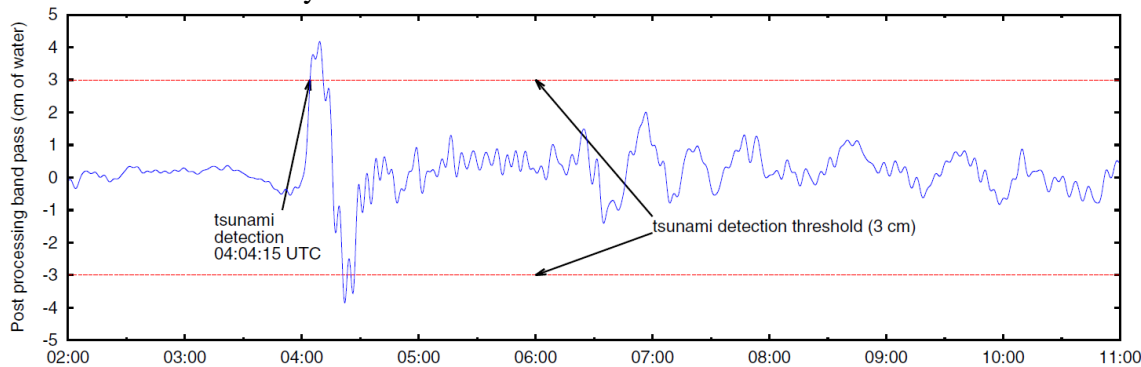
Gambar 4. Contoh proses pengisian kekosongan data

Contoh pengisian kekosongan data menggunakan algoritma interpolasi kubik *spline* sangat bergantung oleh rentang waktu kekosongan data (Gambar 4). Pada umumnya semakin panjang kekosongan data, maka akan semakin rendah tingkat akurasi hasil isian datanya. Metode algoritma TEDA (*Tsunami Early Detection Algorithm*) terdiri dari kaskade filter (Gambar 4). Kaskade filter adalah serangkaian prosedur termasuk penghapusan gelombang pasang surut, penghapusan *spike*, dan *band-pass filter real-time* untuk menghilangkan efek pasang surut, *spike* dan *noise* frekuensi tinggi dan rendah.



Gambar 5. Analisis deteksi *Tsunami real-time* dengan metode TEDA (*Band-Pass filter*)

Pada Gambar 5 terlihat skema proses pendeteksian tsunami menggunakan metode algoritma TEDA untuk melakukan penghapusan fluktuasi gelombang pasang surut, penghapusan data *spike*, dan melakukan *Band-Pass filter* untuk mendapatkan sinyal potensi tsunami yang terdeteksi setelah melewati batas ambang (*threshold*) sekitar 3 cm (Chierici dkk., 2017). Pada gambar 6, menunjukkan penerapan TEDA untuk kumpulan data yang berisi peristiwa tsunami sebenarnya.



Gambar 6. Hasil deteksi *Tsunami* dengan metode TEDA

KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan tinjauan literatur dari setiap metode analisis gelombang pasang surut sistem pendeteksi tsunami memiliki kelebihan dan kekurangan masing-masing. Oleh sebab itu dapat ditarik kesimpulan bahwa metode TEDA merupakan metode yang cukup akurat dan efektif untuk mendeteksi terjadinya *Tsunami*. Metode lainya relatif juga masih dianggap cukup efektif digunakan sebagai *Decision Support System (DSS)* pada sistem peringatan dini tsunami yang dirancang sesuai kebutuhan, karena pada dasarnya kecepatan pengambilan keputusan yang mendekati *real-time* itulah yang sangat dibutuhkan selain harus memiliki tingkat akurasi yang baik.

Sebagai saran ada baiknya setiap metode algoritma pendeteksi tsunami tersebut dikombinasikan atau diimplementasikan secara bersamaan (*pararel*) untuk mempertajam dan

meningkatkan keyakinan hasil pengambilan keputusan, selain itu hasilnya juga dapat dibandingkan satu sama lain.

DAFTAR PUSTAKA

- An, C., Liu, H., Ren, Z., & Yuan, Y. (2018). Prediction of Tsunami Waves by Uniform Slip Models. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 123(11), 8366-8382. <https://doi.org/10.1029/2018JC014363>
- Artawan, P., & Purnamawan, I. K. (2015). Rancangan Detektor Gempa Berpotensi Tsunami Berbasis Wireless Sensor Network Dengan Sistem Magnetic Altitude. *Prosiding Seminar Nasional MIPA*, 64
- Chen, T., Kapron, N., & Chen, J. C. Y. (2020). Using Evolving ANN-Based Algorithm Models for Accurate Meteorological Forecasting Applications in Vietnam. *Mathematical Problems in Engineering*, 1-8. <https://doi.org/10.1155/2020/8179652>
- Chierici, F., Embriaco, D., & Pignagnoli, L. (2017). A new real-time tsunami detection algorithm. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 122(1), 636-652. <https://doi.org/10.1002/2016JC012170>
- Di Risio, M., & Beltrami, G. M. (2014). Algorithms for automatic, real-time tsunami detection in wind-wave measurements: Using strategies and practical aspects. *Procedia Engineering*, 70(0), 545-554. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.02.060>
- Fauzi, A., Mizutani, N. (2020). Machine Learning Algorithms for Real-time Tsunami Inundation Forecasting: A Case Study in Nankai Region. *Pure Appl. Geophys.* 177, 1437-1450. <https://doi.org/10.1007/s00024-019-02364-4>
- Indriasari, T. D., Anindito, K., & Julianto, E. (2015). Analisis dan Perancangan Sistem Pengumpulan Data Bencana Alam. *Jurnal Buana Informatika*, 6(1), 21-28. <https://doi.org/10.24002/jbi.v6i1.396>
- Kato, T., Terada, Y., Ito, K., Hattori, R., Abe, T., Miyake, T., Koshimura, S., & Nagai, T. (2005). Tsunami due to the 2004 September 5th off the Kii peninsula earthquake, Japan, recorded by a new GPS buoy. *Earth, Planets and Space*, 57(4), 297-301. <https://doi.org/10.1186/BF03352566>
- Kurniasih, A., Marin, J., & Setyawan, R. (2020). Belajar dari Simeulue: Memahami Sistem Peringatan Dini Tsunami di Indonesia. *Jurnal Geosains dan Teknologi*, 3(1), 21-30.
- Kusumah, Y., Irawan, B., & Setianingsih, C. (2020). Sea wave detection system using web-based decision tree algorithm. *EECCIS 2020 - 2020 10th Electrical Power, Electronics, Communications, Controls, and Informatics Seminar*, 231-236. <https://doi.org/10.1109/EECCIS49483.2020.9263444>
- Lauterjung, J., & Letz, H. (2017). 10 Years Indonesian Tsunami Early Warning System : Experiences , Lessons Learned and Outlook. *Potsdam: GFZ German Research Centre for Geosciences*, 68.
- Liu, C.M., Rim, D., Baraldi, R. et al. (2021). Comparison of Machine Learning Approaches for Tsunami Forecasting from Sparse Observations. *Pure Appl. Geophys.* 178, 5129-5153. <https://doi.org/10.1007/s00024-021-02841-9>
- Prathama, A. Y. (2018). Pendekatan Ann (Artificial Neural Network) Untuk Penentuan Prosentase Bobot Pekerjaan Dan Estimasi Nilai Pekerjaan Struktur Pada Rumah Sakit Pratama. *Jurnal Teknosains*, 7(1), 14. <https://doi.org/10.22146/teknosains.30139>

- Reba, F. (2022). *Monograf Model Sebaran Frekuensi Gempa Bumi Susulan (Studi Kasus Gempa Bumi Nabire)*.
- Reforgiato, D., Zavarella, V., & Consoli, S. (2013). A survey on tidal analysis and forecasting methods for tsunami Detection. *Science of Tsunami Hazards, 1*, 1-58.
- Rudloff, A., Lauterjung, J., Münch, U., & Tinti, S. (2009). The GITEWS project (German-indonesian tsunami early warning system). *Natural Hazards and Earth System Science, 9*(4), 1381-1382. <https://doi.org/10.5194/nhess-9-1381-2009>
- Rusydy, G. I., Irawan, B., & Setianingsih, C. (2020). Sistem Deteksi Gelombang Laut Dengan Algoritma Knn (K-Nearest Neighbor) Berbasis Android Android Based Sea Wave Detection System Using Knn (K-Nearest Neighbor) Algorithm. Dalam *e-Proceeding of Engineering*, 1698-1702.
- Sriyanto, S. P. D., Angmalisang, P. A., Manu, L., Schadu, J. N. W., Sondak, C. F. A., Mantiri, R. O. S. E., Luasunaung, A., & Sumilat, D. A. (2021). Automatic tsunami arrival detection algorithm for sea level observation system. *Jurnal Teknologi dan Sistem Komputer, 9*(4), 180-190. <https://doi.org/10.14710/jtsiskom.2021.14009>
- Suprijono, S. A., Setianingsih, C., & Saputra, R. E. (2021). *Deteksi Tinggi Rendah Gelombang Air Laut Dengan Multisensor Menggunakan Algoritma Fuzzy Sukamoto High and Low Sea Waves Detection With Multisensor Using Fuzzy Sukamoto Algoritma* (8,6).
- UNDRR and UNESCO-IOC. (2019). *Limitations and Challenges of Early Warning Systems. Case Study: Palu-Donggala Tsunami 28 September 2018. IOC/2019/TS/150*, 100.
- Wang, Y., Heidarzadeh, M., Satake, K., Mulia, I. E., & Yamada, M. (2020). A Tsunami Warning System Based on Offshore Bottom Pressure Gauges and Data Assimilation for Crete Island in the Eastern Mediterranean Basin. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth, 125*(10), 1-15. <https://doi.org/10.1029/2020JB020293>
- Wang, Y., Satake, K., Maeda, T., Shinohara, M., & Sakai, S. (2020). A method of real-time tsunami detection using ensemble empirical mode decomposition. *Seismological Research Letters, 91*(5), 2851-2861. <https://doi.org/10.1785/0220200115>
- Xiao, Y., & Watson, M. (2019). Guidance on Conducting a Systematic Literature Review. *Journal of Planning Education and Research, 39*(1), 93-112. <https://doi.org/10.1177/0739456X17723971>

How to cite:

Melyana, M., Cesar, W., & Mahdiana, D. (2023). Kajian Sistematis Metode Analisis Gelombang Pasang Surut Untuk Sistem Pendeteksi Tsunami Dalam Ragam Literatur. *DECODE: Jurnal Pendidikan Teknologi Informasi, 3*(2), 286-295. <http://dx.doi.org/10.51454/decode.v3i2.160>