

Pengaruh Gelombang Terhadap Abrasi di Pesisir Kabupaten Demak, Kendal, dan Kota Semarang

Arifah Dwi Yuliani^{1*}, Hasti Amrih Rejeki¹

¹Departemen Meteorologi, Sekolah Tinggi Meteorologi Klimatologi dan Geofisika
Jl. Perhubungan I No.5 Pondok Betung, Bintaro, Kec. Pd. Aren, Kota Tangerang Selatan, Banten 15221
*Email: arifahdy22@gmail.com

Abstrak

Dua puluh persen kerusakan daerah pesisir di Indonesia diakibatkan oleh perubahan lingkungan dan abrasi. Perubahan garis pantai terjadi dari waktu ke waktu bersamaan dengan aktivitas gelombang. Provinsi Jawa Tengah termasuk salah satu lokasi prioritas nasional untuk fokus kegiatan penanggulangan bencana abrasi. Lokasi yang dipilih adalah di pesisir Kabupaten Demak, Kendal, dan Kota Semarang. Penelitian ini ditujukan untuk mengkaji mengenai pengaruh gelombang terhadap abrasi. Penelitian ini menggunakan SWAN, yaitu aplikasi model numerik gelombang perairan dangkal. Data masukan yang digunakan adalah data angin reanalisis ECMWF dengan resolusi $0,125^\circ \times 0,125^\circ$ dan data batimetri GEBCO dengan resolusi 30 detik. Perhitungan abrasi menggunakan persamaan yang telah dikembangkan oleh Schwimmer pada 2011. Hasil pemodelan dan analisis menunjukkan bahwa pemodelan SWAN memiliki kemampuan yang cukup bagus dalam menyimulasikan gelombang signifikan untuk wilayah perairan dangkal di utara Jawa meskipun nilainya *underestimate*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa hubungan antara gelombang signifikan dan laju abrasi berbanding lurus. Gelombang membawa energi yang berasal dari angin, semakin besar anginnya maka energi yang dibawa oleh gelombang juga semakin besar. Semakin besar gelombang, semakin besar energi yang diterima oleh bibir pantai sehingga potensi abrasinya semakin besar. Kabupaten Demak merupakan wilayah yang laju abrasinya paling besar dibandingkan dengan Kabupaten Kendal dan Kota Semarang.

Kata kunci: Abrasi, gelombang, model SWAN

Abstract

Twenty percent of the damage in coastal areas in Indonesia is caused by environmental changes and abrasion. Changes in the coastline occur over time along with wave activity. Central Java Province is one of the national priority to focus on shoreline erosion disaster management activities. The chosen location is on the coast of Demak, Kendal, and Semarang City. This study aimed to examine the effect of waves on shoreline erosion. This study used SWAN, which is the application of shallow wave numerical model. Input data used are ECMWF wind reanalysis data with a resolution of $0.125^\circ \times 0.125^\circ$ and bathymetry GEBCO data with a resolution of 30 seconds. The abrasion calculation used an equation that was developed by Schwimmer in 2001. The results of the modeling and analysis showed that the SWAN modeling has a pretty good ability to simulate significant waves for shallow water areas in northern Java even though the value was underestimate. The results showed that the relationship between significant waves and the shoreline erosion rate is linear. Waves carried energy that comes from the wind, the greater the wind, the energy carried by waves is also greater. The bigger the waves, the greater the energy received by the shoreline so that the potential for shoreline erosion is greater. Demak Regency is the region with the highest shoreline erosion rate compared to Kendal Regency and Semarang City.

Keywords: Shoreline erosion, wind wave, SWAN model

PENDAHULUAN

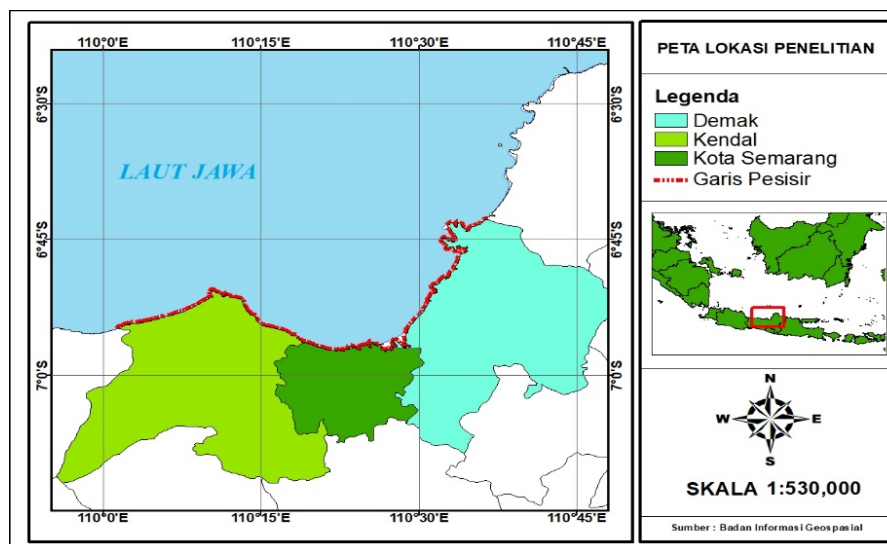
Beberapa bencana yang ada di pesisir dapat ditimbulkan oleh aktivitas cuaca seperti *rip current*, *storm surge*, gelombang ekstrem, dan rob (Marfai dkk., 2013). Bencana-bencana tersebut dapat menyebabkan abrasi. Kamphuis (1987) menyatakan bahwa gelombang laut berkorelasi dengan tingkat erosi yang terjadi di Danau Erie, Teluk Rehoboth (Schwimmer 2001), dan Danau Ontario (Amin and Davidson-Arnott 1997). Penelitian terbaru di Teluk Pulau Hog, Virginia juga menyatakan bahwa gelombang memiliki peran penting pada terjadinya abrasi (McLoughlin dkk., 2015).

Tercatat dua puluh persen kerusakan daerah pesisir diakibatkan oleh perubahan lingkungan dan abrasi (Simanjuntak, 2018). Berdasarkan Rencana Nasional Penanggulangan Bencana 2015-2019 (BNPB, 2014), Provinsi Jawa Tengah termasuk salah satu lokasi prioritas nasional untuk fokus kegiatan penanggulangan bencana abrasi. Faktor bencana yang sangat mempengaruhi pengembangan kawasan pesisir Utara Jawa Tengah adalah ancaman bencana abrasi (Mahendra dkk., 2017). Penelitian yang dilakukan oleh Irawan dkk. (2004) menyimpulkan bahwa terdapat dua puluh tiga wilayah rawan abrasi yang teridentifikasi di sepanjang pesisir utara Provinsi Jawa Tengah. Kejadian abrasi menghilangkan 746 Ha pesisir Kabupaten Demak, 367,87 Ha pesisir Kabupaten Kendal, 154,5 Ha wilayah pesisir Kota Semarang, 86,31 Ha pesisir Kabupaten Pekalongan, 36,08 pesisir Kabupaten Batang, dan 47,15 Ha Kota Pekalongan.

Data gelombang laut sangat penting karena dapat digunakan sebagai salah satu cara untuk upaya mitigasi bencana abrasi di kawasan pesisir. Akan tetapi sulitnya mendapatkan data pengamatan gelombang secara langsung (*in situ*) di Indonesia mengakibatkan penggunaan model numerik menjadi cara untuk mengatasi hal tersebut. Menurut Booij dkk. (1999), pemodelan gelombang yang dapat mewakili wilayah pesisir dengan karakteristik perairan dangkal yaitu model *Simulating Waves Nearshore* (SWAN). Penelitian yang dilakukan oleh Sanford dan Gao (2017) menunjukkan bahwa model SWAN dapat mengetahui pengaruh gelombang dan tinggi muka laut pada fenomena abrasi.

Karena tingginya abrasi yang terjadi di pesisir Utara Jawa Tengah, penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh gelombang laut pada abrasi yang terjadi di pesisir Kabupaten Demak, Kendal, dan Kota Semarang dengan menggunakan model SWAN. Diharapkan penelitian ini dapat menjadi salah satu upaya mitigasi terhadap perubahan garis pantai.

MATERI DAN METODE



Gambar 1. Lokasi penelitian

Domain penelitian yang ditunjukkan pada Gambar 1 adalah daerah pesisir Kabupaten Demak, Kabupaten Kendal, dan Kota Semarang (6° LS – 7° LS dan 110° BT – 111° BT). Waktu penelitian yang dipilih adalah 1 Januari 2014 sampai 31 Desember 2018. Selain itu dilakukan pula pemodelan gelombang pada tanggal 26 – 31 Agustus 2014 untuk data verifikasi.

Data yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Data laju abrasi Kabupaten Cirebon yang diperoleh dari Pusat Riset Kelautan Kementerian Kelautan dan Perikanan sebagai data verifikasi.
2. Data angin Reanalisis ERA-Interim yang didapatkan dari situs ECMWF, <http://apps.ecmwf.int/datasets/data/interim-full-daily/levtype=sfc/>. Data yang diakses adalah data angin komponen u dan v elevasi 10 meter pada tanggal 1 Januari 2014 – 31

Desember 2018 dan 26 – 31 Agustus 2014. Grid yang digunakan untuk *input* adalah $0,125^{\circ} \times 0,125^{\circ}$ dengan resolusi temporal 6 jam.

3. Data *bathymetri* resolusi Global 30 detik dari *General Bathymetry Charts of the Ocean* (GEBCO) yang diakses melalui *British Oceanographic Data Centre* (BODC) www.bodc.ac.uk.
4. Data pengamatan tinggi gelombang signifikan dari *Wave Recorder* Bawean (26 – 31 Agustus 2014) yang digunakan sebagai data verifikasi. Resolusi temporal yang digunakan adalah 24 jam setiap jam. Data diperoleh dari Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika.

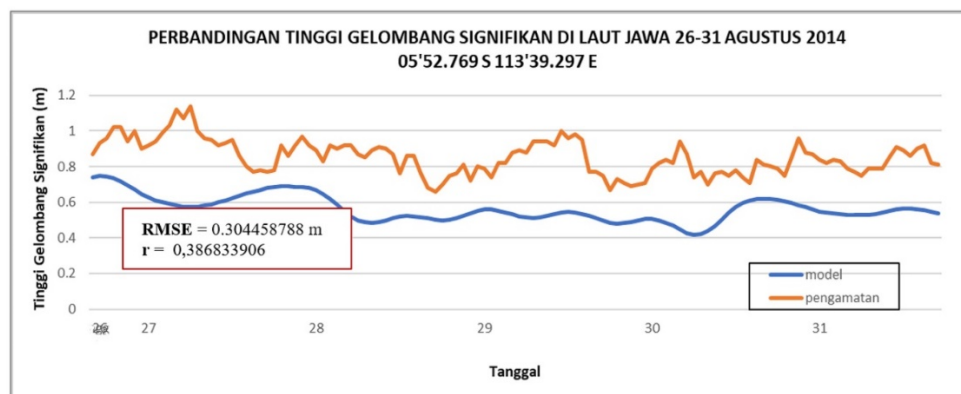
Simulasi model gelombang dilakukan dengan menggunakan *software* SWAN untuk domain Bawean sebagai verifikasi model penelitian. Nilai tinggi gelombang hasil simulasi model pada domain Bawean diverifikasi dengan data pengamatan tinggi gelombang dari BMKG. Selanjutnya dilakukan simulasi model gelombang untuk wilayah penelitian dengan menggunakan *software* SWAN. Dari hasil simulasi gelombang, dilakukan perhitungan abrasi dengan rumus yang dikembangkan oleh Schwimmer (2001), dengan laju abrasi (R , $m\ y^{-1}$) dan kekuatan gelombang (P , $KW\ m^{-1}$)

$$R = 0.35P^{1.1}$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Verifikasi keluaran model SWAN

Berdasarkan hasil pengolahan data verifikasi gelombang signifikan keluaran model SWAN dengan data *wave recorder* Bawean yang ditunjukkan oleh gambar 2, memperlihatkan adanya kemiripan pola perubahan secara temporal dari nilai tinggi gelombang signifikan pada periode 26-31 Agustus 2014. Kondisi ini ditunjukkan oleh adanya peningkatan dan penurunan nilai tinggi gelombang signifikan yang bervariasi terhadap waktu. Nilai tertinggi terjadi dengan nilai 1,14 m untuk data *wave recorder* Bawean pada tanggal 27 Agustus 2014 pukul 07.00 LT dan 0,74698 m untuk data keluaran model SWAN pada tanggal 26 Agustus 2014 pukul 18.00 LT. Selain itu, nilai terendah terjadi pada 27 Agustus 2014 pukul 17.00 LT dengan nilai 0,66 m untuk data *wave recorder* Bawean dan 0,41825 m untuk data keluaran model SWAN pada tanggal 30 Agustus 2014 pukul 07.00 LT.



Gambar 2. Grafik perbandingan tinggi gelombang signifikan di Laut Jawa tanggal 26-31 Agustus 2014

Berdasarkan hasil verifikasi dari perhitungan statistik, menunjukkan korelasi antara data hasil model SWAN dengan *wave recorder* Bawean untuk periode 26-31 Agustus 2014. Terlihat bahwa nilai koefisien korelasi adalah 0,38683. Nilai koefisien korelasi antara 0,3 sampai dengan 0,5 menunjukkan bahwa korelasi rendah (Mundir, 2012). Perhitungan *error* dari keluaran model SWAN dalam penelitian ini menggunakan perhitungan RMSE. Berdasarkan hasil perhitungan *error* pada gambar 1 di atas, nilai RMSE adalah 0,30445. Dimana, jika hasil perhitungan RMSE semakin mendekati nol, maka menunjukkan kualitas data yang dikeluarkan oleh model semakin baik atau semakin dekat nilai keluaran model dengan nilai observasinya. Sebaliknya, semakin besar nilai RMSE maka semakin jauh nilai keluaran model dengan nilai observasinya. Berdasarkan hasil perhitungan tersebut maka, data tinggi

gelombang signifikan keluaran model SWAN memiliki nilai yang baik atau mendekati data pembandingan dari *wave recorder* Bawean tetapi korelasinya lemah.

Ditinjau dari segi nilai secara umum, data gelombang signifikan keluaran model SWAN memiliki nilai yang cenderung *underestimate* terhadap data *wave recorder* Bawean, hal tersebut terlihat pada awal hingga akhir periode (26-31 Agustus 2014) yang memiliki nilai lebih rendah dibanding *wave recorder* Bawean. Menurut WMO No. 702 (1998) model gelombang dikatakan baik apabila nilai verifikasi memiliki nilai RMSE antara 0,2 m hingga 0,9 m tergantung dari lokasi verifikasi berada. Sehingga simulasi gelombang yang dilakukan pada penelitian ini dapat dikatakan baik.

Verifikasi perhitungan abrasi di Kabupaten Cirebon

Berdasarkan hasil perhitungan dari persamaan yang dikembangkan oleh Schwimmer (2001), data pada Tabel 1 menunjukkan bahwa terdapat perbedaan nilai laju abrasi yang cukup besar antara data pengamatan dan perhitungan. Kondisi ini ditunjukkan oleh nilai perhitungan yang sangat *underestimate* dibandingkan dengan data pengamatan. Nilai laju abrasi tertinggi terjadi dengan nilai 0,43034 km²/th untuk data pengamatan dan 0,001338546 km²/th untuk data hasil perhitungan dengan lokasi yang sama yaitu wilayah Losari. Selain itu, nilai terendah terjadi dengan nilai 0,00103 km²/th yang terjadi di Astanajarupa untuk data data pengamatan dan 0,000639466 km²/th untuk data hasil perhitungan di wilayah Babakan.

Berdasarkan hasil verifikasi dari perhitungan statistik, menunjukkan bahwa korelasi antara data hasil pengamatan dan perhitungan untuk periode tahun 2000 hingga 2013 sangat kuat dan memiliki hubungan yang searah. Terlihat bahwa nilai koefisien korelasi berada pada nilai 0,804363976. Dimana, tanda plus (+) dan minus (-) dalam indeks koefisien korelasi menunjukkan adanya perubahan yang searah jika bernilai plus (+) atau berkebalikan jika bernilai minus (-) (Mundir, 2012). Perhitungan *error* dari keluaran model SWAN dalam penelitian ini menggunakan perhitungan RMSE. Berdasarkan hasil perhitungan *error*, nilai RMSE bernilai 0,198732467. Dimana, jika hasil perhitungan RMSE semakin mendekati nol, maka menunjukkan kualitas data yang dikeluarkan oleh model semakin baik. Sebaliknya, semakin besar nilai RMSE maka semakin jauh nilai keluaran model dengan nilai observasinya. Berdasarkan hasil perhitungan tersebut maka, data laju abrasi berdasarkan perhitungan dari rumus yang dikembangkan oleh Schwimmer (2001) memiliki nilai yang baik.

Tabel 1 Nilai laju abrasi di Kabupaten Cirebon

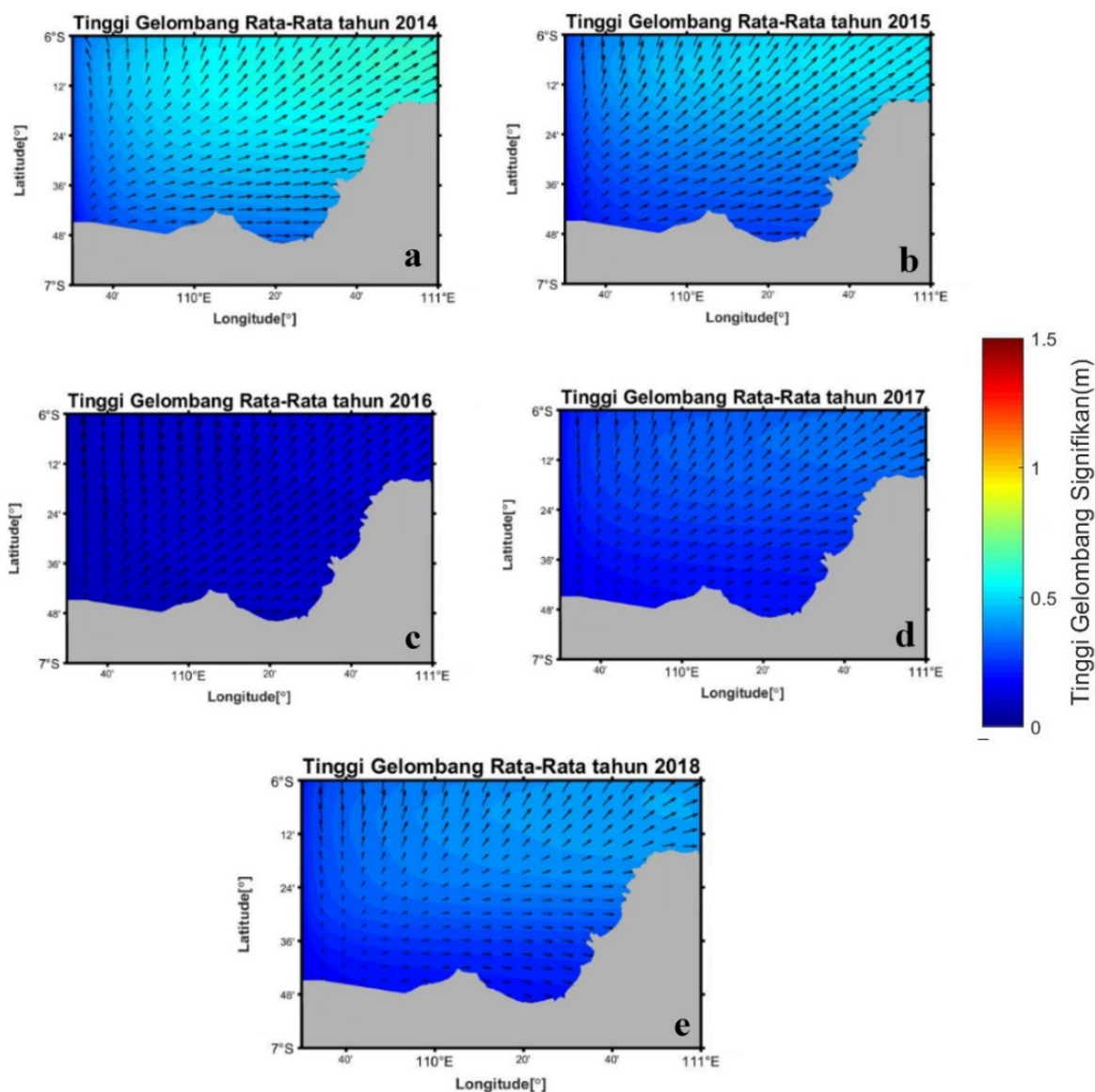
Lokasi	Laju Abrasi Tahunan (Km ² /Th)	
	Pengamatan	Perhitungan
Astanajarupa	0,00103	0,000840276
Babakan	0,0865	0,000639466
Cirebon Utara	0,03808	0,000683143
Kapetakan	0,06932	0,001054867
Losari	0,43034	0,001338546

Perhitungan abrasi di Kabupaten Demak, Kendal, dan Kabupaten Semarang

Berdasarkan hasil perhitungan laju abrasi dengan persamaan yang sama tapi dengan lokasi yang berbeda yaitu di utara Jawa Tengah dengan lokasi Kabupaten Demak, Kendal, dan Kota Semarang didapatkan nilai laju abrasi yang sangat jauh berbeda dari lokasi sebelumnya yaitu Kabupaten Cirebon. Dari data pada Tabel 2, wilayah Kabupaten Demak, Kendal, dan Kota Semarang laju abrasi terendah adalah 0,09182 km²/th yang terjadi pada tahun 2016 dan laju abrasi tertinggi bernilai 2,246693 km²/th pada tahun 2014 dengan lokasi yang sama yaitu di Kabupaten Demak.

Tabel 2. Nilai laju abrasi dan rata-rata tinggi gelombang signifikan tahunan di Kabupaten Demak, Kendal, dan Kota Semarang

Tahun	Laju Abrasi Tahunan (Km ² /Tahun)			Rata-rata Tinggi Gelombang Signifikan Tahunan (m)		
	Demak	Kendal	Semarang	Demak	Kendal	Semarang
2014	2,246693	1,190611	1,091675	0,715711	0,564182	0,540845
2015	1,147138	0,623612	0,564346	0,56996	0,460466	0,444105
2016	0,09182	0,061773	0,059596	0,200349	0,173454	0,17521
2017	0,298437	0,193478	0,201727	0,393049	0,340146	0,331172
2018	0,283305	0,167195	0,160568	0,419499	0,359006	0,336751



Gambar 3. Rata-rata arah dan tinggi gelombang signifikan tahun a) 2014, b) 2015, c) 2016, d) 2017, dan e) 2018

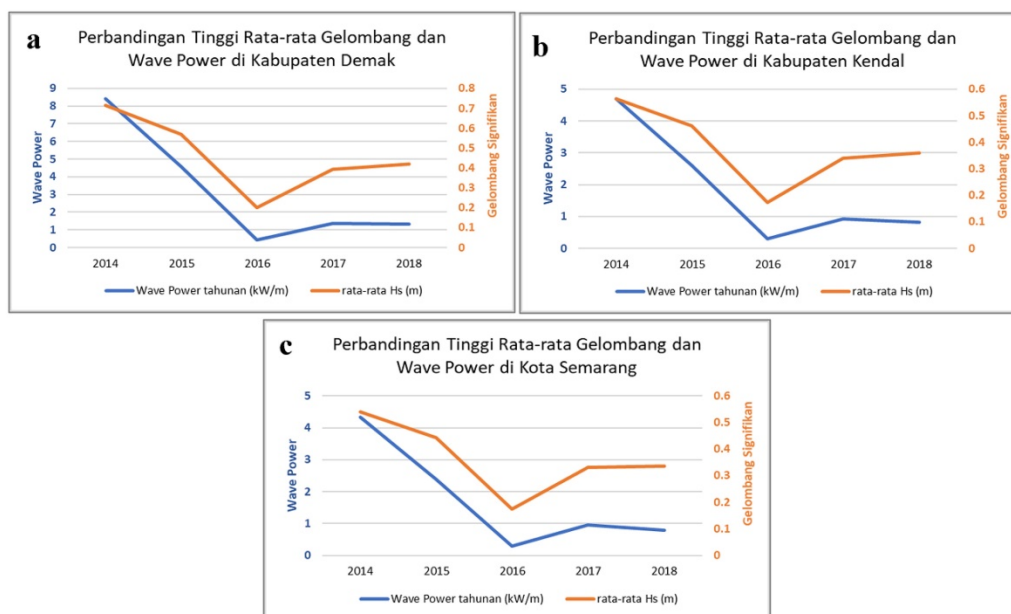
Berdasarkan hasil pengolahan data gelombang signifikan keluaran model SWAN yang ditunjukkan oleh Gambar 3, memperlihatkan bahwa gelombang di dekat pesisir Demak, Kendal, dan Semarang cenderung memiliki arah ke timur. Panjang gelombang akan berangsur-angsur berkurang, sedangkan tinggi gelombang akan bertambah pada saat gelombang menuju perairan dangkal,

kemiringan gelombang akan bertambah besar ke perairan dangkal, dan akhirnya gelombang akan pecah (Pratikto dan Armono, 1997), hal tersebut menyebabkan Kabupaten Demak yang posisinya lebih menjorok ke utara menerima gelombang yang lebih besar dibandingkan dengan Kabupaten Kendal dan Kota Semarang. Oleh karena itu, energi yang sampai ke pesisir Kabupaten Demak lebih besar sehingga laju abrasinya juga lebih besar. Pesisir Kota Semarang memiliki laju abrasi yang paling kecil karena posisinya yang cenderung seperti teluk sehingga gelombang lebih kecil sebab gelombang sudah terhalang oleh Kabupaten Kendal di bagian barat. Adapun hasil perhitungan nilai kekuatan gelombang (*wave power*) yang sampai di masing-masing lokasi penelitian dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Nilai *wave power*

Tahun	Wave Power Tahunan (kW/m)		
	Demak	Kendal	Semarang
2014	8,431038	4,706846	4,337507
2015	4,565528	2,611439	2,382188
2016	0,44124	0,307129	0,300389
2017	1,361963	0,916602	0,947554
2018	1,320427	0,821482	0,789245

Hanafi (2013) menjelaskan bahwa perubahan garis pantai terjadi dari waktu ke waktu bersamaan dengan aktivitas gelombang, angin, pasang surut dan arus, serta sedimentasi daerah delta sungai. Gelombang membawa energi yang berasal dari angin, semakin besar anginnya maka energi yang dibawa oleh gelombang juga semakin besar. Semakin besar gelombang, semakin besar energi yang diterima oleh bibir pantai sehingga potensi abrasinya semakin besar (Sutirto dan Trisnoyuwono, 2014). Pernyataan tersebut sesuai dengan Tabel 2, bahwa laju abrasi berbanding lurus dengan tinggi gelombang signifikan. Hubungan antara nilai kekuatan gelombang (*wave power*) terhadap tinggi gelombang dapat dilihat pada Gambar 4.

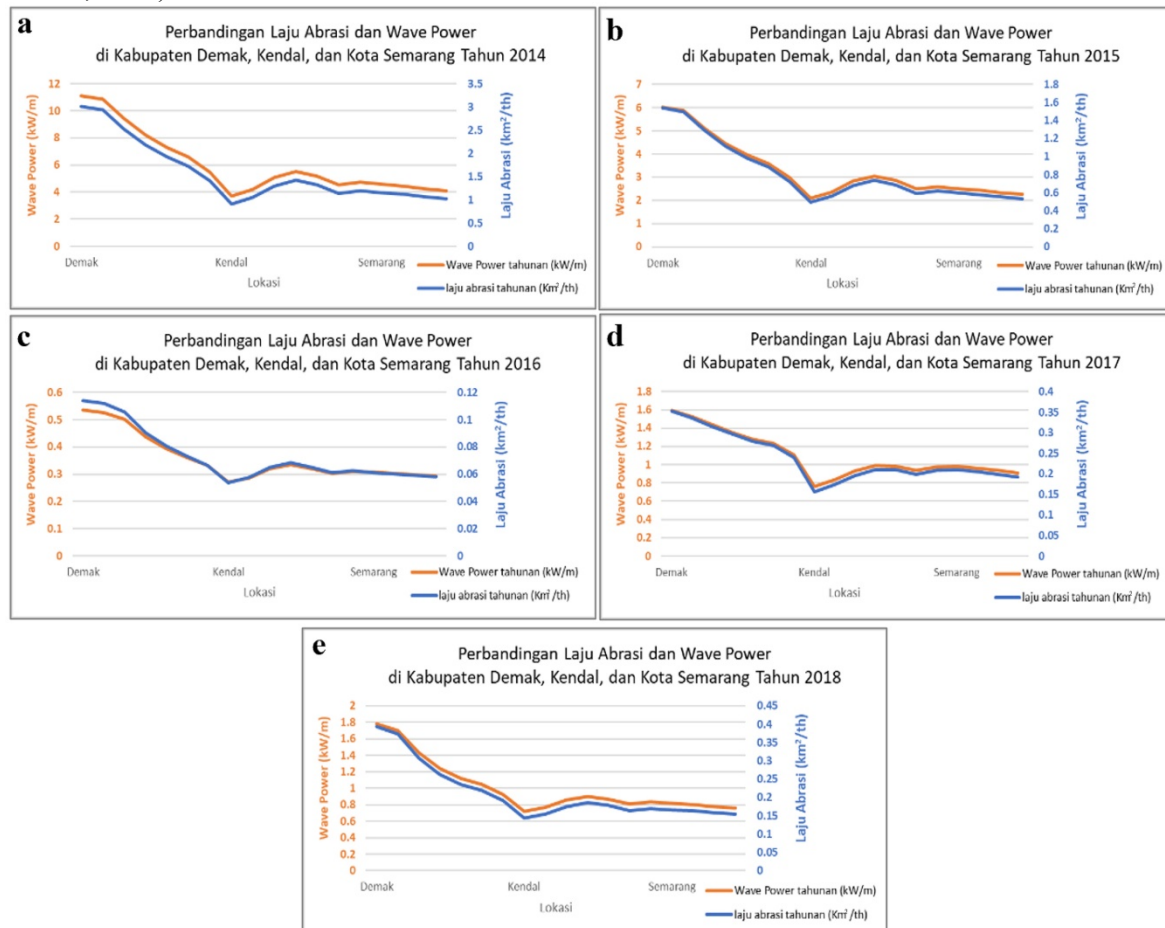


Gambar 4. Perbandingan tinggi rata-rata gelombang dan *wave power* tahun 2014-2018 di a) Kabupaten Demak, b) Kendal, dan c) Kota Semarang

Penelitian yang dilakukan oleh Marani (2011) dan Raven, dkk. (2009) menyimpulkan bahwa gelombang merupakan salah satu penyebab abrasi tetapi tidak memiliki pengaruh yang signifikan. Kesimpulan tersebut sesuai dengan perhitungan laju abrasi dengan menggunakan persamaan yang nilainya sangat kecil jika dibandingkan dengan data pengamatan laju abrasi seperti yang ditunjukkan

pada Tabel 1. Selain gelombang, memperhitungkan tinggi muka laut, pasang surut, (Lyddon dkk., 2019) dan ketinggian pesisir (Sanford dan Gao, 2017) memberikan hasil perhitungan laju abrasi yang semakin mendekati data pengamatan.

Dari hasil perbandingan antara hasil perhitungan laju abrasi dengan persamaan dan data pengamatan, secara umum laju abrasi dari hasil perhitungan persamaan memiliki nilai yang *underestimate* dari awal hingga akhir periode (2000-2013). Hal ini dapat disebabkan karena adanya sumber ketidakpastian yang terlibat dalam estimasi laju abrasi dan nilai *wave power* (mis., kesalahan instrumental pengukuran angin, perkiraan model gelombang, serta variabilitas spasial dari sifat sedimen dan tutupan vegetasi). Faktor ketidakpastian dapat menyebabkan perbedaan hasil yang signifikan (Marani, 2011).



Gambar 5. Grafik perbandingan laju abrasi dan wave power di Kabupaten Demak, Kendal, dan Kota Semarang tahun a) 2014, b) 2015, c) 2016, d) 2017, dan e) 2018

Dari nilai koefisien korelasi dan perbandingan antara Tabel 2 dan 3 terkait hubungan nilai laju abrasi, nilai rata-rata tinggi gelombang signifikan, dan *wave power* menunjukkan hubungan yang searah. Semakin tinggi gelombang signifikan, semakin besar pula nilai *wave power* sehingga nilai laju abrasi akan semakin besar. Gambar 5 menunjukkan bahwa laju abrasi berbanding lurus dengan hasil perhitungan *wave power* di ketiga wilayah tersebut. Dari nilai koefisien korelasi dan perbandingan antara tabel 2 dan 3 terkait hubungan nilai laju abrasi, nilai rata-rata tinggi gelombang signifikan, dan *wave power* menunjukkan hubungan yang searah. Semakin tinggi gelombang signifikan, semakin besar pula nilai *wave power* sehingga nilai laju abrasi akan semakin besar.

KESIMPULAN

Hasil simulasi gelombang dengan menggunakan model SWAN cenderung bernilai *underestimate*, namun dapat menyimulasikan prediksi abrasi di wilayah penelitian. Hal ini ditunjukkan dengan semakin besar gelombang, semakin besar energi yang diterima oleh bibir pantai sehingga potensi abrasinya semakin besar.

DAFTAR PUSTAKA

- Amin, S., dan Davidson-Arnott, R. G., 1997, A statistical analysis of the controls on shoreline erosion rates, Lake Ontario, *Journal of Coastal Research*, pp 1093-1101.
- BNPB, 2014, *Rencana Nasional Penanggulangan Bencana 2015-2019*. https://bnpb.go.id/uploads/24/file/Renstra_BNPB_2015_2019.pdf, diakses tanggal 5 Oktober 2019
- Booij, N., Ris, R. C., dan Holthuijsen, L. H., 1999, A third- generation wave model for coastal regions: 1. Model description and validation, *Journal of geophysical research: Oceans*, Vol. 104 No. C4 pp 7649-7666.
- Hanafii, M. 2013, Studi Perubahan Garis Pantai Kaitannya dengan Pengelolaan Wilayah Pesisir Indramayu Jawa Barat, *Puslitbang Geologi Kelautan*.
- Irawan. 2004. *Studi Penanganan Abrasi di Pantura Jawa Tengah*. Semarang: Balitbang Provinsi Jawa Tengah dan Fakultas Ilmu Perikanan Universitas Diponegoro.
- Kamphuis, J. W., 1987, Recession Rate of Glacial Till Bluffs, *Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering*, pp 60-73.
- Lyddon, C. E., Brown, J. M., Leonardi, N., & Plater, A. J. (2019). Increased coastal wave hazard generated by differential wind and wave direction in hyper-tidal estuaries. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 220, 131-141.
- Mahendra, I. W. W. Y., Maulana, E., Wulan, T. R., Dwi, A., Rahmadana, W., dan Putra, A. S., 2017, Pemetaan Kawasan Rawan Abrasi di Provinsi Jawa Tengah Bagian Utara. ("Mapping of Abrasion Prone Area in Central Java Province"), *Bunga Rampai, Kepesisiran dan Kemaritiman (Collection of Articles in Coastal and Maritime)*, Vol. 2 pp 93-105.
- Marani, M., D'Alpaos, A., Lanzoni, S., dan Santalucia, M., 2011. Understanding And Predicting Wave Erosion Of Marsh Edges, *Geophysical Research Letters*, Vol. 38, L21401
- Marfai, M. A., Cahyadi, A., dan Anggraini, D. F., 2013, Tipologi, Dinamika, dan Potensi Bencana Di Pesisir Kawasan Karst Kabupaten Gunungkidul. *Forum Geologi*, Vol. 27 No. 2 pp 151-162.
- McLoughlin, S. M., Wiberg, P. L., Safak, I., dan McGlathery, K. J., 2015, Rates and forcing of marsh edge erosion in a shallow coastal bay, *Estuaries and Coasts*, Vol. 3 no. 2 pp 620-638.
- Mundir. 2012. *Statistik pendidikan; Pengantar analisis data untuk penulisan skripsi dan tesis*. Jember : STAIN Jember Press.
- Pratikto, W. A., dan Armono, H. D. 1997. *Perencanaan Fasilitas Pantai Dan Laut*. Yogyakarta : BPFE.
- Ravens, T. M., Thomas, R. C., Roberts, K. A., dan Santschi, P. H., 2009, Causes of salt marsh erosion in Galveston Bay, Texas, *Journal of Coastal Research*, pp 265-272.
- Sanford, L. P., dan Gao, J., 2017, Influences of wave climate and sea level on shoreline erosion rates in the Maryland Chesapeake Bay, *Estuaries and Coasts*, Vol. 41 No. 1 pp 19-37.
- Schwimmer, R. A., 2001, Rates and processes of marsh shoreline erosion in Rehoboth Bay, Delaware, USA, *Journal of Coastal Research*, pp 672-683.
- Simanjuntak, P. S., 2018, Performance Evaluation on Low-Crest Breakwater at North Coast of Java Island, *Paper presented at the Journal of the Civil Engineering Forum*.
- Sutirto, dan Trisnoyuwono, D. 2014. *Gelombang Dan Arus Laut Lepas*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- WMO, 1998. *Guide To Wave Analysis and Forecasting No.702*. Geneva: Secretariat of The World Meteorological Organization.