

KAJIAN MORFODINAMIKA PANTAI WIDURI KABUPATEN PEMALANG**Hamammi Ahdannabiel^{1*}, Radianta Triatmadja², Nur Yuwono²**¹Mahasiswa Program Studi Magister Teknik Sipil, Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknik,
Universitas Gajah Mada²Dosen Program Studi Magister Teknik Sipil, Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknik,
Universitas Gajah Mada

Jl. Grafika No. 2 Kampus UGM, Kab. Sleman, Yogyakarta, 55281

*Email: hamammi.ahdannabiel@gmail.com, radiana@ugm.ac.id, nuryuwono@ugm.ac.id**Abstrak**

Pantai dapat digambarkan sebagai daerah yang masih dipengaruhi oleh pasang surut air laut. Permasalahan yang sering terjadi di pantai adalah erosi pantai. Erosi pantai memiliki pengaruh terhadap perubahan garis pantai. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui perubahan garis pantai yang terjadi di sekitar groin Pantai Widuri. Analisis perubahan garis pantai menggunakan aplikasi DSAS dan software MIKE21. Citra satelit yang digunakan adalah citra Landsat. Waktu perekaman citra selama 8 (delapan) tahun dari tahun 2013 – 2020 dan modul yang digunakan untuk pemodelan MIKE21 adalah modul FlowModel FM, Spectral Wave dan Sand Transport. Parameter yang digunakan sebagai inputan untuk mendapatkan besaran nilai sediment transport adalah data angin hasil reanalysis ERA5 selama 11 (sebelas) tahun dari tahun 2010 – 2020 yang kemudian diolah menggunakan metode SMB. Rumus empiris yang digunakan untuk melakukan prediksi nilai besaran LST menggunakan rumus dari CERC dan Walton Jr. Hasil analisis menunjukkan, hampir seluruh bagian dari Pantai Widuri mengalami akresi, dengan besaran LST per tahunnya memiliki nilai bervariasi untuk setiap musimnya. Kecepatan arus sejajar pantai di lapangan sebesar 0.834 m/s dan 0.512 m/s.

Kata kunci: Akresi, Groin, MIKE21, Perubahan Garis Pantai**PENDAHULUAN**

Pantai adalah wilayah yang sangat dinamis karena di wilayah ini antara darat, udara, dan laut saling berinteraksi satu sama lain sehingga pantai akan terus menerus mencari kesetimbangan alami dimana akan memiliki dampak terhadap perubahan garis pantai (Arief dkk., 2011). Perubahan garis pantai menjadi sebuah permasalahan yang sering terjadi di perairan pantai Utara Jawa akibat dari erosi dan sedimentasi yang berlebihan. Salah satu pantai yang mengalami erosi adalah pantai Widuri yang terletak di Kabupaten Pemalang.

Perairan Pantai Widuri memiliki panjang garis pantai sejauh ± 2 (dua) km dengan ± 1.4 (satu koma empat) km dibangun groin. Secara geografis Pantai Widuri terletak di antara $109^{\circ} 22' 03.7''$ - $109^{\circ} 22' 48''$ BT dan $6^{\circ} 51' 40''$ - $6^{\circ} 51' 43''$ LS. Kawasan pantai Widuri masuk ke dalam zona rawan terhadap gelombang pasang dan erosi pantai. Kondisi perairan Pantai Widuri mirip dengan yang ada di sepanjang pantai Utara Jawa yaitu perairan dangkal dengan kemiringan landai, hal ini diperkuat oleh Aguilar dkk, (2010) yang menjelaskan bahwa daerah pesisir dengan kontur perairan landai seperti daerah dimana proses pasang surut/*macrotidal* sering terjadi, garis pantai dapat bergeser secara cepat. Pantai Widuri memiliki muara sungai yang banyak menyimpan sedimen, sehingga secara umum garis pantai akan mengalami perkembangan karena pada umumnya muara sungai memiliki material tersuspensi tinggi yang berasal dari sungai tersebut.

Oleh masyarakat sekitar, Pantai Widuri digunakan sebagai tempat wisata dan juga pemukiman sedangkan di muara sungainya digunakan sebagai Tempat Pelelangan Ikan (TPI). Kegiatan masyarakat ini dapat mempercepat terjadinya erosi pantai yang berefek kepada perubahan garis pantai. Untuk melihat perubahan garis pantai dapat menggunakan alat bantu, yaitu berupa pemodelan ataupun menggunakan citra satelit. Menurut Kasim (2012), menggunakan alat bantu dalam *memonitoring* perubahan garis pantai dapat memberikan keuntungan karena mampu menganalisa dalam jangkauan yang luas dan juga menghemat pengeluaran biaya.

Kajian perubahan garis pantai diharapkan dapat memberikan informasi kepada pemerintah Kabupaten Pemalang dan berbagai pihak lainnya sehingga memiliki informasi tambahan yang berguna dalam pengelolaan wilayah pesisir.

METODOLOGI

Perubahan Garis Pantai

Data garis pantai diperoleh dari citra Landsat. Citra yang digunakan adalah citra dengan waktu perekaman tahun 2013 – 2020 yang terekam pada musim Peralihan II. Citra dikoreksi secara radiometrik dan geometrik. Perubahan garis pantai kemudian diolah menggunakan bantuan aplikasi DSAS (Digital Shoreline Analysis System). Titik dasar dibentuk oleh perpotongan garis transek yang dibuat oleh pengguna dan garis pantai berdasarkan waktu dan digunakan DSAS sebagai panduan pengukuran (Istiqomah dkk., 2016; Salmon dkk., 2019). Oleh karena itu, pembaharuan garis pantai perlu dilakukan secara berkala dimana data mengenai wilayah pesisir perlu dikelola secara baik sehingga dapat digunakan untuk perlindungan pesisir atau dapat digunakan sebagai acuan dalam menyusun rencana pembangunan jangka panjang untuk wilayah pesisir (Guariglia dkk., 2006).

Peramalan Data Gelombang

Peramalan data gelombang dilakukan menggunakan data angin reanalysis ERA5 yang kemudian diolah dengan menggunakan metode SMB (Svedrum Munk Brestschneider). Data angin yang digunakan adalah data angin perjam selama 10 (sepuluh) tahun, tahun 2010 – 2020. Data angin reanalysis ERA5 dapat diunduh melalui <https://climate.copernicus.eu/>.

Berdasarkan hasil peramalan gelombang dengan menggunakan metode SMB diperoleh nilai berupa tinggi gelombang signifikan (H_s) dalam satuan meter dan periode gelombang signifikan (T_s) dalam satuan detik. Menurut CERC (1984) dalam Yulius dkk (2020), ada beberapa tahapan yang perlu dilakukan untuk melakukan peramalan gelombang, antara lain: melakukan filter data angin, menghitung panjang fetch efektif, dan menghitung tinggi dan periode gelombang laut. Triatmodjo (1999) dalam Satriadi (2012), menjelaskan bahwa tinggi gelombang signifikan (H_s) dan periode gelombang signifikan (T_s) diperoleh dengan menggunakan metode statistik 33,3% yaitu dengan mengurutkan nilai H dan T dari yang tertinggi hingga terendah, kemudian diambil 33,3% nilai tertinggi dari keseluruhan data.

Nilai H_s dan T_s digunakan untuk menganalisis parameter gelombang yang ada seperti: panjang gelombang laut dalam (L_0), panjang gelombang (L), kedalaman perairan relatif (d/L), koefisien shoaling (K_s), koefisien refraksi (K_r), sudut gelombang pecah (α_b) kedalaman gelombang pecah (db), ketinggian gelombang pecah (H_b), dan kecepatan arus sejajar pantai (V) dimana nilai db dan H_b akan digunakan untuk menghitung besaran LST (Harahab dkk., 2017; Yulius dkk., 2020).

Simulasi Pemodelan MIKE21

MIKE21 adalah sebuah perangkat lunak yang dapat mensimulasikan model hidrodinamika dalam bentuk 2 (dua) dimensi berdasarkan pendekatan *grid* atau *mesh* (DHI, 2012). MIKE21 dapat untuk mensimulasikan gelombang, sedimen, aliran dan ekologi baik wilayah pantai atau wilayah sungai. Pada penelitian ini menggunakan 3 modul yaitu *Flow Model FM*, *Spectral Waves FM*, dan *Sand Transport*.

Dalam melakukan pemodelan menggunakan MIKE21 diperlukan untuk membuat *mesh* terlebih dahulu yang berasal dari data bathimetri dan data garis pantai. Data yang diperlukan untuk modul *Flow Model FM* adalah *mesh*, data angin dan data pasang surut sedangkan untuk modul *Spectral Waves* adalah data gelombang, data angin, dan data *area series* yang berasal dari hasil modul *Flow Model FM*. Kemudian untuk modul *Sand Transport* berupa data karakteristik sedimen berupa ukuran butir sedimen d_{50} , hasil pemodelan modul *Spectral Waves* dan *mesh*.

Transpor Sedimen Sejajar Pantai

Transpor sedimen pantai dapat terjadi akibat adanya aktivitas fisik berupa gelombang, oleh karena itu transpor sedimen akan terjadi sepanjang tahun dimana arah dan besaran transpor akan mengalami perbedaan, bergantung dari musim yang sedang terjadi. Untuk mendapatkan nilai besaran sedimen transport dapat menghitung dengan menggunakan persamaan empiris (Dahuri dkk., 2001).

Besaran nilai transpor sedimen pantai dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

$$Q_n = Q_{rt} - Q_{lt} \quad (1)$$

dengan:

$$Q_{rt} = \text{Transpor Sedimen Sejajar Pantai Musim Barat (m}^3\text{/tahun)}$$

$$Q_{lt} = \text{Transport Sedimen Sejajar Pantai Musim Timur (m}^3\text{/tahun)}$$

Persamaan CERC

Menurut CERC (1984), dengan menghitung besar nilai energi fluks gelombang dapat digunakan untuk melakukan pendekatan dalam menghitung besaran transport sedimen sejajar pantai dengan menggunakan persamaan berikut:

$$P_l = (EC_g)_b \sin \alpha_b \cos \alpha_b \quad (2)$$

dengan:

E_b = Energi Gelombang

C_{gb} = Kecepatan Grup Gelombang Pada Saat Gelombang Pecah

$$E_b = \frac{\rho g H_b^2}{8} \quad (3)$$

$$C_{gb} = \sqrt{g d_b} \quad (4)$$

dengan:

α_b = Sudut Datang Gelombang Pecah ($^\circ$)

H_b = Tinggi Gelombang Pecah (m)

d_b = Kedalaman Gelombang Pecah (m)

Sehingga nilai transport sedimen sejajar pantai dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

$$Q = \frac{K A \rho g H_b^2 T \sin(2\alpha_b)}{64\pi} \quad (5)$$

dengan:

Q = Transport Sedimen Sejajar Pantai ($\text{m}^3\text{/tahun}$)

K = Konstanta

ρ_s = Densitas Sedimen (kg/m^3)

ρ = Densitas Air Laut (kg/m^3)

g = Percepatan Gravitasi (m/s^2)

p = Faktor Porositas (0,4)

T = Periode Gelombang (s)

$A = \frac{1}{(\rho_s - \rho)(1 - p)}$

α_b = Sudut Datang Gelombang Pecah ($^\circ$)

Persamaan Walton Jr dan Bruno

Walton Jr dan Bruno (1989), mengusulkan rumus empiris untuk mengukur transport sedimen dengan berdasarkan nilai tinggi gelombang pecah dan arus sejajar pantai. Rumus yang diusulkan sebagai berikut:

$$Q = \frac{K A \rho g H_b W V C_f}{0,78(5\pi/2)(V/V_o)_{LH}} \quad (6)$$

$$V = 20,7 m (g H_b)^{0,5} \sin(2\alpha_b) \quad (7)$$

dengan:

V = Rata-rata Kecepatan Arus Sejajar Pantai (m/s)

W = Lebar Surf Zone (m)

C_f = Koefisien Friksi (0,005) (Shanas and Kumar, 2014)

m = Gradien Kemiringan Lereng

$(V/V_o)_{LH}$ = Teori Kecepatan Arus Sejajar Pantai Dengan Parameter Campuran (0,4) (Longuet-Higgins, 1970)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kondisi Lapangan

Tabel 1 menunjukkan hasil pengukuran dan observasi lapangan yang dilakukan pada lokasi penelitian. Tinggi gelombang dan periode gelombang lapangan termasuk kecil dengan tinggi gelombang pada masing-masing titik pengambilan adalah 31 cm dan 49 cm sedangkan untuk periode gelombang adalah 2.4 detik dan 4.38 detik (Ahdannabiel, 2017; Gusnanto, 2017). Hal ini memiliki keterkaitan erat dengan lemahnya angin yang bertiup.

Sistem monsun yang dominan di perairan Asia Tenggara berdampak besar kepada pola dan arah angin (Wyrтки, 1961). Arah angin yang dominan selama musim Timur (Juni-Agustus) adalah Tenggara dan Timur. Sedangkan selama musim Barat dominan angin berasal dari Barat dan Barat Laut. Selama musim Peralihan angin menjadi tidak menentu.

Kecepatan angin antara 1 – 5 knot dapat menghasilkan gelombang setinggi 0.5 m sedangkan untuk kecepatan 7 – 16 knot membentuk gelombang antara ketinggian 0.5 – 20 m (Wyrтки, 1961; Sorensen, 1991).

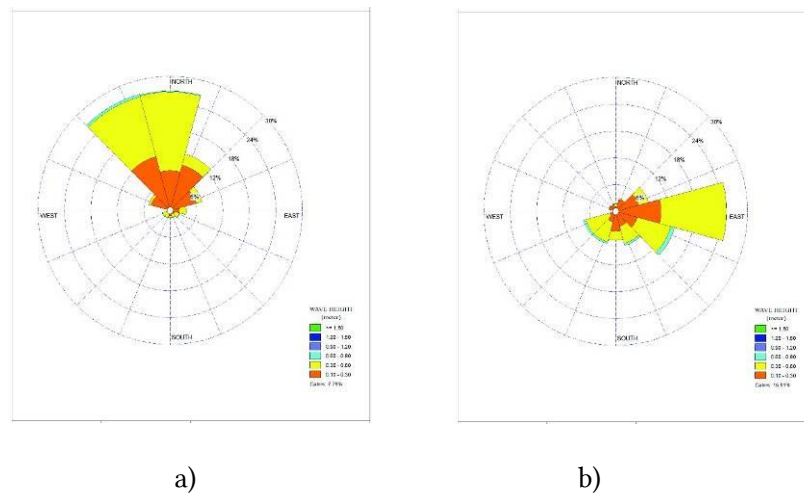
Tabel 1. Karakter Gelombang di Pantai Widuri

	Titik 1	Titik 2
Posisi	S 06° 51' 39.9" E 109° 22' 40.3"	S 06° 51' 42.1" E 109° 22' 09.0"
Tanggal	29/08/2016	21/05/2016
α_0 (°)	45	35
Hs (m)	0.49	0.31
Ts (s)	4.38	2.4
Hb (m)	0.3836	0.1940
db (m)	0.4348	0.2231
V (m/s)	0.8339	0.5122

Peramalan Gelombang

Hasil peramalan gelombang menggunakan metode SMB, diperoleh nilai tinggi gelombang signifikan (Hs) dan nilai periode gelombang signifikan (Ts) pada musim barat sebesar 0.563 meter dan 3.866 detik. Sedangkan untuk musim timur diperoleh nilai tinggi gelombang signifikan (Hs) dan nilai periode gelombang signifikan (Ts) sebesar 0.441 meter dan 4.418 detik. Hasil peramalan gelombang kemudian di validasi dengan data lapangan menggunakan metode CF didapatkan nilai sebesar 0.049 untuk parameter H dan 0.581 untuk parameter T.

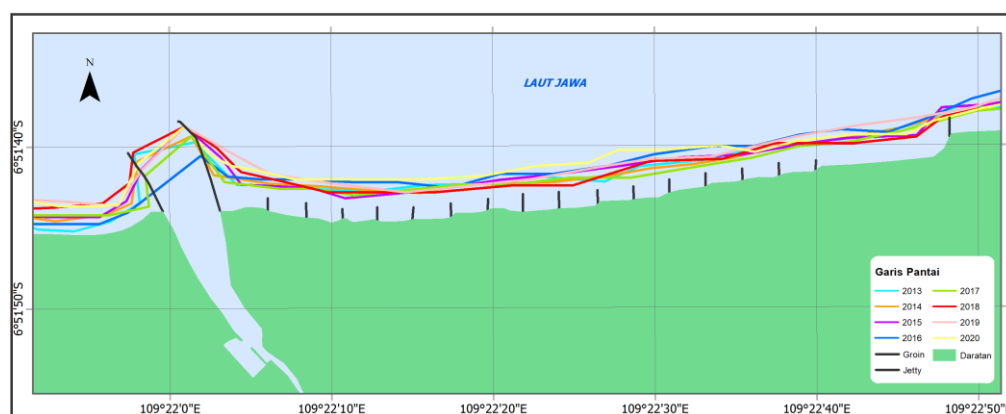
Peramalan gelombang, kemudian dibuat *wave rose* untuk melihat dominansi arah datang gelombang. Sehingga diperoleh besaran sudut datang gelombang (α_0) untuk musim Barat sebesar 345° dan musim Timur 85°.



Gambar 1. (a) Mawar Gelombang Musim Barat Tahun 2010 – 2020 dengan Dominansi Berasal dari Arah Barat Laut dan Utara (b) Mawar Gelombang Timur Tahun 2010 – 2020 dengan Dominansi Berasal dari Arah Timur

Perubahan Garis Pantai

Citra yang digunakan dalam penelitian ini adalah citra Landsat yang mana citra Landsat memiliki resolusi spasial 30 m. Semua citra yang digunakan dalam penelitian diambil selama musim transisi kedua. Variasi perubahan garis pantai selama 8 (delapan) tahun terakhir (2013 – 2020) dapat dilihat pada gambar 2. Hasil pengolahan citra menunjukkan bahwa garis pantai Widuri selama 8 (delapan) tahun terakhir cenderung mengalami penambahan panjang garis pantai. Pada tahun 2013 luas wilayah pantai adalah 63.862 m² sedangkan tahun 2020 bertambah menjadi 100.812 m² sedangkan untuk panjang garis pantai pada tahun 2013 sepanjang 1486 m sedangkan tahun 2020 bertambah menjadi 1503 m. Tidak hanya faktor morfodinamik saja yang dapat mempengaruhi pertumbuhan garis pantai, ada faktor lain yang berperan dalam pertumbuhan garis pantai seperti terdapatnya bangunan pelindung pantai berupa groin. Karena fungsi dari groin itu sendiri adalah untuk memerangkap sedimen supaya terjadinya pertumbuhan garis pantai.



Gambar 2. Peta Perubahan Garis Pantai dengan Menggunakan Citra Landsat Sepanjang Tahun 2013 – 2020 Menunjukkan Terjadi Akresi di Sepanjang Pantai Widuri

Transpor Sedimen Sejajar Pantai

Menurut CEM (2002), selisih antara nilai transpor sedimen pada musim barat dan musim timur adalah sebagai besaran nilai transpor sedimen per tahun. Jika besar transpor sedimen bernilai positif maka arah dari transpor sedimen menuju arah barat sedangkan bernilai negatif menuju ke arah timur.

Nilai Q_n untuk titik 1 menurut persamaan CERC sebesar 5.621×10^3 m/tahun untuk titik 2 sebesar 5.155×10^3 m/tahun sedangkan untuk persamaan Walton Jr nilainya lebih besar yaitu untuk titik 1 adalah 15.847×10^3 m/tahun dan titik 2 sebesar 13.210×10^3 m/tahun.

Dari persamaan CERC dan Walton Jr untuk di kedua titik memiliki nilai positif, sehingga menunjukkan bahwa dominansi ke arah musim barat dan dominansi terjadinya akresi seperti ditunjukkan pada gambar 2.

Tabel 2. Nilai LST per Musim per Tahun

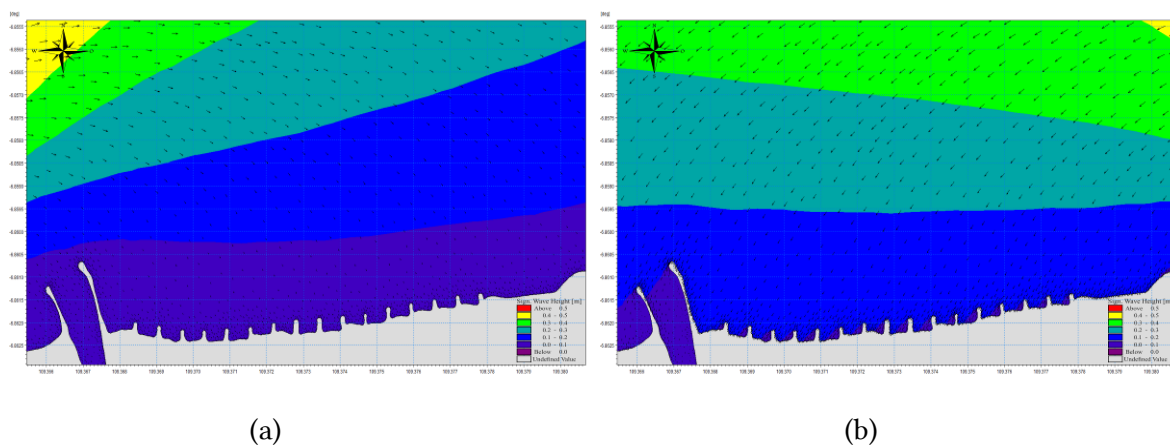
Titik	Musim	CERC	Walton Jr	NET	
		Q (m ³ /yr)	Q (m ³ /yr)	CERC	Walton Jr
1	Lapangan	20.6622337	63.80489832		
	Barat	20.14744725	63.87728553		
	Peralihan 1	17.03645526	56.02762319	5.621	15.847
	Timur	10.11304698	37.57407467		
	Peralihan 2	21.44958911	66.48418476		

Tabel 3. Nilai LST per Musim per Tahun (Lanjutan)

Titik	Musim	CERC	Walton Jr	NET	
		Q (m ³ /yr)	Q (m ³ /yr)	CERC	Walton Jr
2	Lapangan	3.268458595	21.08086531		
	Barat	20.36517735	65.56219295		
	Peralihan 1	17.31114101	58.22579097	5.155	13.210
	Timur	10.20466596	38.52100121		
	Peralihan 2	22.31698106	72.0572966		

Pemodelan MIKE21

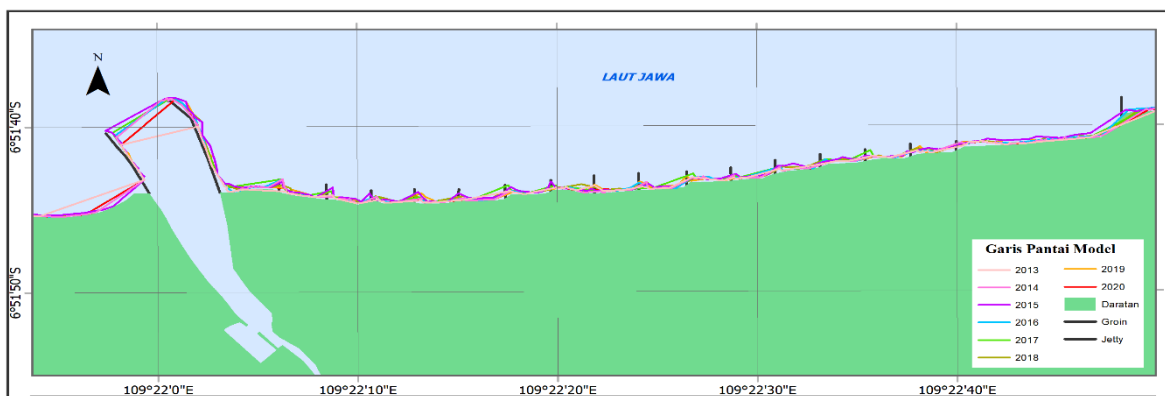
Pemodelan tinggi gelombang dan pemodelan sedimen dasar menggunakan program MIKE21 menggunakan modul yang berbeda. Untuk tinggi gelombang menggunakan modul *Spectral Wave* sedangkan sedimen dasar menggunakan modul *Sand Transport*. Hasil dari kedua model tersebut sama-sama ditampilkan dalam gradien warna untuk memudahkan dalam *visualisasi*.



**Gambar 3. Hasil Pemodelan Tinggi Gelombang pada Musim Barat Tahun 2010 – 2020 Menunjukkan Gelombang Bergerak Dari Arah Barat Kemudian Berbelok Menuju Pantai Dimana Selama Menjalar Mengalami Transformasi Gelombang Berupa *Shoaling* Dan Refraksi
 (b) Hasil Pemodelan Tinggi Gelombang pada Timur Tahun 2010 – 2020 Menunjukkan Gelombang Bergerak dari Arah Timur Laut Menuju Pantai Mengalami Tranformasi Gelombang Akibat Perubahan Dasar Laut**

Pemodelan gelombang dengan menggunakan MIKE21 menunjukkan bahwa tinggi gelombang yang ada di depan *jetty* muara berkisar 10 – 20 cm dan tinggi gelombang yang ada di sekitar groin pantai adalah 0 – 10 cm pada musim barat, sedangkan pada musim timur tinggi gelombang lebih merata di nilai 10 – 20 cm. Arah penjalaran gelombang juga mengalami pembelokan. Pembelokan yang terjadi pada saat penjalaran gelombang dikarenakan perbedaan kontur kedalaman. Sorensen (2006) dalam Amalia dkk (2014), menjelaskan bahwa gelombang yang merambat dari perairan dalam menuju ke perairan rendah akan mengalami sebuah efek yang dinamakan refraksi dimana perubahan arah rambat gelombang akibat perbedaan kedalaman dan akan berusaha tegak lurus dengan kontur garis pantai.

Pada pemodelan sedimen dasar terlihat hasil perubahan garis pantai setiap tahunnya. Perubahan yang terjadi diakibatkan oleh adanya proses sedimentasi ataupun proses erosi perairan. Hasil pemodelan menunjukkan adanya sedimentasi baik yang ada di sekitar groin ataupun disekitar *jetty* muara dengan tingkatan yang berbeda.



Gambar 4. Hasil Perubahan Garis Pantai Menggunakan Pemodelan MIKE21 dari Tahun 2013 – 2020

Hasil antara citra Landsat dengan pemodelan MIKE21 terlihat jarak yang sangat berbeda. Perbedaan ini terjadi karena resolusi temporal dari citra yang digunakan. Citra Landsat memiliki resolusi temporal 30 m serta memiliki banyak faktor yang mempengaruhinya seperti tutupan awan dan kemiringan satelit. Sehingga pada saat digitasi akan terjadi penyimpangan seperti berada jauh di depan groin dan cenderung lurus, sedangkan pada hasil MIKE21 cenderung berada di sekitar groin lebih terlihat posisi sedimentasi dan abrasi dikarenakan MIKE21 memiliki keunggulan dalam akurasi yang tinggi. Untuk perubahan garis pantai dengan skala besar antara citra Landsat dengan MIKE21 akan terlihat sama akan tetapi untuk perubahan garis pantai yang skala kecil akan sangat susah terlihat menggunakan citra.

Berdasarkan hasil penelitian Ahdannabiel dkk., (2017) sedimen yang ditemukan pada perairan Pantai Widuri berupa pasir dan pasir lanauan. Dari hasil peramalan gelombang baik secara matematis maupun dengan *software* tinggi gelombang di Pantai Widuri relatif kecil, kurang dari 1 m. Dengan ketinggian gelombang yang rendah tidak memiliki banyak pengaruh terhadap sebaran sedimen. Rendahnya tinggi gelombang juga disebabkan oleh kontur yang landai dan kecepatan angin yang lemah.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dan pembahasan penelitian, dapat ditarik kesimpulan bahwa perairan pantai Widuri dilihat dari citra Landsat selama 8 (delapan) tahun (2013 – 2020) didominasi dengan proses akresi. Hasil ini didukung dengan rendahnya tinggi gelombang di pantai widuri yang mana tinggi gelombang di bawah 1 m, nilai LST dari kedua persamaan bernilai positif dan juga ada nya groin di sekitar Pantai Widuri, dimana fungsi groin itu sendiri digunakan untuk memerangkap sedimen supaya garis pantai mengalami kemajuan. Kecepatan arus sejajar pantai cenderung rendah, yaitu 0.834 m/s dan 0.512 m/s.

Hasil penelitian ini dapat dimanfaatkan untuk pengembangan wilayah pantai widuri kedepannya baik untuk melakukan mitigasi wilayah ataupun pengembangan wilayah pesisir. Penelitian ini masih dapat dikembangkan mengingat penelitian di wilayah perairan pantai Widuri masih sangat minim, seperti kajian sebaran sedimen di muara sungai, kajian besaran muatan sedimen yang masuk ke wilayah pantai, dan kajian bathimetri untuk alur pelayaran.

TERIMA KASIH

Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu dalam memberikan kontribusi untuk menyelesaikan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Aguilar, F.J., Fernández, I., Pérez, J.L., López, A., Aguilar, M.A., Mozas, A., and Cardenal, J. 2010. Preliminary Results on High Accuracy Estimation of Shoreline Change Rate Based on Coastal Elevation Models. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Science*. Vol 38 (8): 986-991. Kyoto.
- Ahdannabel, H., Widada, S., dan Hariadi. 2017. Distribusi Sedimen Dasar Akibat Arus Sejajar Pantai di Sekitar Groin di Perairan Pantai Widuri Pemalang. *Jurnal Oseanografi*. Vol 6 (4): 650-658.
- Amalia, R., Warsito, A., dan Purwanto. 2014. Studi Refraksi dan Difraksi Gelombang pada Rencana Bangunan Pelabuhan di Tanjung Bonang, Kabupaten Rembang. *Jurnal Oseanografi*. Vol 3 (4):582 – 588.
- Arief, M., Winarso, G., dan Prayogo, T. 2011. Kajian perubahan garis pantai menggunakan data satelit Landsat di Kabupaten Kendal. *J. Penginderaan Jauh dan Pengolahan Data Citra Digital*. Vol8(1): 71-80.
- CEM. 2002. *Coastal Engineering Manual*. Dept of the Army, U.S. Army Corps of Engineers. Washington D.C.
- CERC. 1984. *Shore Protection Manual*. Vol 1, 4th Ed, US Army Corps of Engineers, Washington D.C. Government Printing Office, Vicksburg.
- Dahuri, R., Rais, J., Ginting, S.P., dan Sitepu, M.J. 2001. *Pengelolaan Sumberdaya Wilayah Pantai dan Laut Secara Terpadu*. P.T Pradnya Paramita, Jakarta.
- Guariglia, A., Buonamassa, A., Losurdo, A., Saladino, R., Trivigno, M.L., Zaccagnino, A., and Colangelo, A. 2006. A Multisource Approach for Coastline Mapping and Identification of Shoreline Changes. *Annals of Geophysics*. 49(1): 295-304.
- Gusnanto, H.N.O.H. 2017. Study Run Up Gelombang pada Jetty Muara di Pelabuhan Perikanan Pantai Tangungsari, Kabupaten Pemalang. *Skripsi*. Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan. Universitas Diponegoro. Semarang.
- Harahab, M.I., Sugianto, D.N., dan Purwanto. 2017. Analisis Transformasi dan Spektrum Gelombang Berarah di Perairan Sayung Demak Jawa Tengah. *Jurnal Oseanografi*. Vol 6(1): 89-99.
- Istiqomah, F., Sasmito, B., dan Amarrohman. F.J. 2016. Pemantauan Perubahan Garis Pantai Menggunakan Aplikasi Digital Shoreline Analysis System (DSAS) Studi Kasus: Pesisir Kabupaten Demak. *Jurnal Geodesi Undip*. Vol 5 (1): 78-89.
- DHI. 2012. *MIKE 21 & MIKE 3 Flow Model FM, Sand Transpor Module, Scientific Documentation*. MIKE BY DHI, Edition 2012.
- Kasim, F. 2012. Pendekatan Beberapa Metode Dalam Monitoring Perubahan Garis Pantai Menggunakan Dataset Penginderaan Jauh Landsat dan SIG. *J. Ilmiah Agropolitan*. 5(1): 620- 635.
- Longuet-Higgins, M.S. 1970. Longshore Currents Generated by Obliquely Incident Sea Waves: 1. *J. Geophys. Res.* 75(33): 6778-6789.
- Salmon, C., Duvat, V.K.E., and Laurent, V. 2019. Human- and Climate-Driven Shoreline Changes on a Remote Mountainous Tropical Pacific Island: Tubuai, French Polynesia. *Anthropocene*. 25: 100191.
- Satriadi, A. 2012. Studi Batrimetri dan Jenis Sedimen Dasar Laut di Perairan Mariana, Semarang, Jawa Tengah. *Buletin Oseanografi Marina*. Vol 1. 53 – 62.
- Shanas, P.R., and Kumar, V.S. 2014. Coastal Processes and Longshore Sediment Transport along Kundapura Coast, Central West Coast of India. *Geomorphology*. 214: 436-451.
- Sorensen, R.M. 1991. *Basic Coastal Engineering*. John Wiley & Sons, New York.

- Sugianto, D.N. 2010. Model Distribusi Data Kecepatan Angin dan Pemanfaatannya Dalam Peramalan Gelombang di Perairan Laut Paciran, Jawa Timur. *Jurnal Ilmu Kelautan*. Vol 15(3): 143-152.
- Walton, Jr. T.L., and Bruno. R.O. 1989. Longshore Transport at a Detached Breakwater, Phase II. *Journal of Coastal Research*. Vol 5 (4):679-691.
- Wyrcki, K. 1961. *Physical Oceanography of The Southeast Asian Waters*. Vol. 2. Naga Report. Univ. of California, La Jolla, San Diego.
- Yulius., Putra, N.K.K., Rochaddi, B., dan Ramdhan, M. 2020. Abrasi dan Akresi Berdasarkan Longshore Sediment Transport Serta Perubahan Garis Pantai: Studi Kasus Pantai Pulau Cemara Besar, Karimunjawa. *Jurnal Segara*. Vol 16. No 3. 197-208.