

SIMULASI GELOMBANG DI PANTAI BENGKALIS DENGAN MENGUNAKAN CADMAS-SURF

Alvin Defarian¹⁾, Sigit Sutikno²⁾, Rinaldi²⁾

¹⁾ Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Riau

²⁾ Dosen Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Riau

Kampus Bina Widya Jl.HR Soebrantas KM 12,5 Pekanbaru, Kode Pos 28293

Email: alvin.defarian@student.unri.ac.id

Abstract

Bengkalis Coast has been attacked by abrasion process and needs to be restored as before with mangrove restoration. The purpose of this study is to analyze the characteristics of sea waves and to analyze the condition of the coast for conducive of mangrove restoration. The method used is wave simulation by some alternative cases which is processed using CADMAS-SURF. The area of study was focused in Selat Baru Coast, northern part of Bengkalis Island. The results show that Selat Baru coast has a significant wave height of 1,396 m and a period of 5,572 seconds. Protected coastal areas of the breakwater is a conducive condition for mangrove restoration.

Keyword: wave simulation, bengkalis coast, CADMAS-SURF

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pantai Selat Baru menjadi salah satu tempat wisata yang menarik yang berada di Pulau Bengkalis. Namun, sebagian besar wilayah pantai tersebut masih belum memiliki perlindungan dan mengalami kerusakan. Ditambah lagi jenis tanah di daerah ini yang merupakan jenis tanah gambut yang rentan hancur jika diterpa gelombang besar. Lebih dari 1 meter ketebalan gambut menutupi daerah Bengkalis (Sutikno, 2017). Pada tahun 2016, Staf Khusus Wakil Presiden Bidang Ekonomi dan Keuangan, Wijayanto Samirin berkata bahwa wilayah pesisir Bengkalis mengalami abrasi hingga 25 meter per tahun (News Detik, 2016). Kondisi ini mempersulit ekonomi penduduk sekitar karena hilangnya kebun

akibat termakan abrasi dan hasil tangkapan ikan yang turun drastis akibat rusaknya kawasan mangrove. Oleh karena itu, salah satu upaya untuk mengembalikan kondisi pantai di Pulau Bengkalis yang berhadapan langsung dengan Selat Malaka adalah dengan menumbuhkan kembali pohon-pohon mangrove pada daerah pesisir pantai Bengkalis. Pohon-pohon mangrove ini berguna sebagai pelindung daerah pantai atas gelombang laut yang datang dan juga sebagai tempat endapan sedimen yang nantinya akan dapat menambah daerah daratan Pantai Bengkalis (Noor, 1999). Namun mengingat mangrove hanya dapat tumbuh pada perairan yang tenang, sementara gelombang laut yang datang ke pantai cukup tinggi, maka akan sulit mengandalkan tumbuhnya mangrove secara alami. Maka dari itu perlu usaha

untuk mencegah dan mengurangi kekuatan gelombang yang datang ke pantai yaitu dengan cara membuat bangunan pelindung pantai. Diharapkan dengan adanya bangunan pelindung tersebut, gelombang dan arus laut menjadi lebih tenang dan menjadi tempat yang kondusif untuk tumbuhnya bibit-bibit mangrove.

Untuk mengetahui karakteristik gelombang, dapat dilakukan dengan cara simulasi gelombang laut. Simulasi gelombang dilakukan dengan cara membuat pemodelan geometrik pantai dan gelombang laut yang terjadi. Pemodelan tersebut dapat dilakukan dengan membuat model fisik maupun model numerik. Pemodelan yang dilakukan pada tugas akhir ini menggunakan model numerik meninjau keterbatasan sumber daya peralatan, waktu dan biaya. Dengan menggunakan model numerik, simulasi gelombang laut yang terjadi di daerah pantai tersebut dapat dilakukan dengan lebih mudah dan ekonomis. Pemodelan numerik ini dibuat dengan perangkat lunak bernama CADMAS-Surf 2D. Perangkat lunak CADMAS-Surf 2D merupakan sebuah perangkat lunak dengan analisis numerik yang menerapkan persamaan kontinuitas Navier-Stokes dalam arah direksi x dan z yang digunakan untuk simulasi gelombang (Wijatmiko & Murakami, 2011). Simulasi gelombang dilakukan dengan tujuan mencari keadaan gelombang di daerah pantai yang paling kondusif agar proses rehabilitasi pohon mangrove dapat dilakukan secara efektif.

1.2 Tinjauan Pustaka

Pantai Desa Selat Baru merupakan pantai yang ada di Pulau Bengkalis tepatnya pada bagian utara pulau Bengkalis. Daerah ini merupakan pantai

yang berhadapan langsung dengan Selat Malaka dan berseberangan dengan Negara Malaysia. Gelombang yang datang pada daerah ini jauh lebih besar daripada gelombang yang berada di pantai bagian selatan Pulau Bengkalis. Hal ini disebabkan karena gelombang pantai Desa Selat Baru dipengaruhi oleh laut yang lebih luas pada Selat Malaka.

Selama 26 tahun, yaitu antara tahun 1998 dan tahun 2014, telah terjadi perubahan garis pantai di Pulau Bengkalis yang cukup besar menandakan terjadinya abrasi pantai (Sutikno, 2014). Maka dari itu perlu perlindungan yang efektif untuk mencegah terjadinya hal tersebut. Salah satunya adalah dengan mereduksi energi gelombang laut yang datang ke pantai dengan cara mendirikan bangunan pelindung pantai. Namun perlu analisis yang tepat agar dapat mereduksi energi gelombang laut yang datang secara efektif.



Gambar 1. Kondisi pantai Selat Baru yang mengalami abrasi

Sumber: Dokumentasi, 2017

Gelombang adalah pergerakan naik dan turunnya air dengan arah tegak lurus permukaan air laut yang membentuk kurva atau grafik sinusoidal (Faiqun, 2008). Sedangkan Pasang surut laut merupakan fenomena naik turunnya muka laut secara periodik yang terjadi di seluruh belahan bumi akibat adanya gaya pembangkit pasang surut yang utamanya berasal dari matahari dan bulan (Douglas, 2001). Pasang surut muka air laut dapat

dianalisis dengan menggunakan metode Admiralty berdasarkan pada pengamatan selama 15 hari atau 29 hari yang bertujuan untuk mendapatkan elevasi muka air laut surut terendah (LLWL) dan elevasi muka air laut pasang tertinggi (HHWL).

Gelombang di laut sebagian besar dibangkitkan oleh angin (*wind wave*). Sehingga gelombang di laut (*wind wave*) dapat diperkirakan atau diramal dari data angin yang ada. Data angin berupa kecepatan angin (U) diukur dengan alat *Anemometer*, sedangkan arah angin (a) diukur dengan alat *Wind Shock*. Tujuan peramalan gelombang adalah untuk mengubah atau mentransformasikan data angin menjadi data gelombang. Untuk keperluan perencanaan bangunan-bangunan pantai diperlukan tinggi dan perioda gelombang individu yang dapat mewakili suatu seri pencatatan gelombang. Gelombang tersebut dikenal dengan nama gelombang representatif. Jika tinggi gelombang dari suatu pencatatan diurutkan dari nilai yang paling tinggi ke nilai terendah, maka dapat dapat dibentuk tinggi H_n yang merupakan rerata dari n persen gelombang tertinggi. Bentuk seperti itu akan dapat dinyatakan sebagai karakteristik gelombang alam dalam bentuk gelombang tunggal. Misalnya H_{50} , yaitu rata-rata 50 persen gelombang tertinggi dari pencatatan gelombang dan $H_{1/3}$, yakni tinggi gelombang rata-rata dari sepertiga gelombang tertinggi dari pencatatan gelombang yang ada. Bentuk yang paling banyak digunakan sebagai perwakilan suatu seri pencatatan gelombang adalah $H_{1/3}$ atau disebut dengan tinggi gelombang signifikan (H_s). Cara yang sama dilakukan untuk menghitung periode gelombang signifikan, yaitu periode rata-rata untuk sepertiga gelombang tertinggi. Dalam peramalan gelombang tersebut diperlukan beberapa

parameter yakni panjang fetch (F), kecepatan angin (U), durasi angin (t) dan arah angin bertiup (α). Panjang fetch merupakan panjang perairan untuk menghasilkan gelombang laut. Panjang fetch dapat dilihat dari berbagai arah mata angin namun dalam peramalan gelombang, panjang fetch yang diambil adalah panjang fetch efektif. Panjang fetch efektif (F_{eff}) dapat dihitung menggunakan rumus berikut.

$$F_{eff} = \frac{\sum_{i=1}^N (F_i \times \cos \alpha_i)}{\sum_{i=1}^N (\cos \alpha_i)}$$

Dimana:

F_{eff} = panjang fetch efektif,

F_i = panjang fetch ke-i,

α_i = sudut simpangan ke-i terhadap arah utama.

1.3 Perumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini adalah bagaimana karakteristik gelombang yang paling kondusif di daerah pantai Selat Baru sebagai tempat rehabilitasi pohon mangrove agar dapat mengembalikan keadaan pantai seperti semula.

1.4 Tujuan dan Manfaat

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Mengetahui karakteristik gelombang yang terjadi di daerah Pantai Selat Baru.
2. Mengetahui keadaan pantai dan gelombang laut yang paling kondusif sebagai tempat rehabilitasi pohon mangrove.

Manfaat dari penelitian ini adalah dapat dijadikan sebagai referensi model

bangunan pelindung pantai yang paling efektif dalam mengurangi gaya gelombang dan arus laut.

II. METODE PENELITIAN

2.1 Lokasi Penelitian

Lokasi studi penelitian dilakukan di pantai Selat Baru Kecamatan Bantan Kabupaten Bengkalis, Riau. Pada lokasi penelitian, diambil dua titik pengamatan yang akan dimodelkan yaitu daerah pantai yang memiliki *breakwater (existing)* dan daerah pantai yang belum ada terdapat bangunan pelindung pantai.



Gambar 2. Daerah pantai Bengkalis tanpa bangunan pelindung pantai
Sumber: Dokumentasi, 2017

2.2 Peralatan yang Digunakan

Pemodelan simulasi gelombang dibuat dengan perangkat lunak CADMAS-SURF. Aplikasi ini merupakan keluaran Jepang yang banyak digunakan dalam membuat model simulasi gelombang pantai. Aplikasi ini merupakan aplikasi dua dimensi (2D) yang dapat digunakan sebagai informasi dalam analisis dan perencanaan pemodelan pantai seperti rencana pembangunan pelindung pantai. Untuk menjalankan perangkat lunak CADMAS-SURF ini diperlukan

perangkat komputer PC atau laptop dengan spesifikasi yang cukup tinggi.

2.3 Prosedur Penelitian

2.3.1 Pengumpulan Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data sekunder yakni data yang didapat dari pengukuran penelitian terdahulu dan bukan merupakan hasil dari pengukuran langsung di lapangan mengingat alat dan waktu penelitian yang terbatas.

Data sekunder yang digunakan dalam penelitian ini adalah data pasang surut tahun 2015, data topografi dan bathimetri tahun 2014 yang diperoleh dari Peta Dinas Hidro-Oseanografi, serta data angin tahun 2015 yang diperoleh dari sistem SESAME yakni alat ukur yang dipasang oleh (Yamaguchi University, Universitas Riau dan Politeknik Bengkalis) untuk memonitor daerah pantai Pulau Bengkalis.



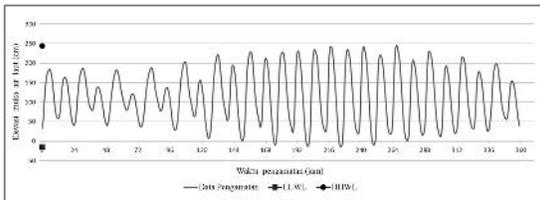
Gambar 3. Lokasi alat ukur kecepatan angin SESAME
Sumber: Dokumentasi, 2017

2.3.2 Analisis Pasang Surut

Pasang surut muka air laut Bengkalis dianalisis untuk mendapatkan elevasi muka air laut surut terendah (LLWL) dan elevasi muka air laut pasang tertinggi (HHWL). Data pasang surut yang dianalisis merupakan data rekaman selama

15 hari yakni pada tanggal 22 Agustus sampai 5 September tahun 2015.

Pasang surut dianalisis menggunakan metode *Admiralty* yakni dengan delapan skema pengolahan. Berdasarkan langkah-langkah pengolahan pasang surut metode *Admiralty*, maka dapat dianalisis besar elevasi pasang surut yang terjadi di Pantai Bengkalis.



Gambar 4. Kurva pasang surut bengkalis 2015 sumber: perhitungan

Nilai parameter di atas digunakan untuk mengetahui tipe pasang surut yang terjadi dan untuk menghitung tinggi muka air laut pada saat pasang tinggi tertinggi (HHWL) dan saat surut rendah terendah (LLWL).

$$F = \frac{AK_1 + AO_1}{AM_2 + AS_2}$$

$$F = \frac{7,39 + 21,81}{60,27 + 48,06} = 0,27$$

Didapat $0.25 < F \leq 1.50$ yang menandakan bahwa di pantai Selat Baru memiliki pasang surut campuran condong ke harian ganda.

$$HHWL = 245 \text{ cm}$$

$$LLWL = -15 \text{ cm}$$

$$HHWL - LLWL = 245 - (-15) = 260 \text{ cm}$$

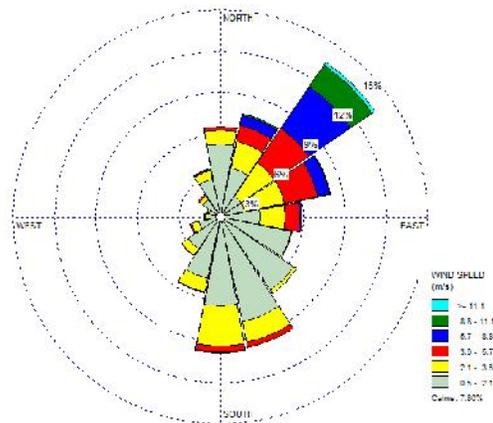
$$MSL = \frac{HHWL - LLWL}{2} = \frac{260}{2} = 130 \text{ cm}$$

Nilai selisih HHWL dan LLWL serta nilai MSL di atas digunakan untuk

mendapatkan kedalaman laut pada saat laut pasang tinggi tertinggi di peta Bathimetri, karena nilai kedalaman pada peta tersebut menampilkan kedalaman laut pada saat surut rendah terendah (LLWL). Hal ini menjadi salah satu skema simulasi gelombang berikutnya, yakni simulasi pada saat pasang tinggi tertinggi (HHWL) dan saat muka air laut rata-rata (MSL).

2.3.3 Analisis Mawar Angin dan Fetch

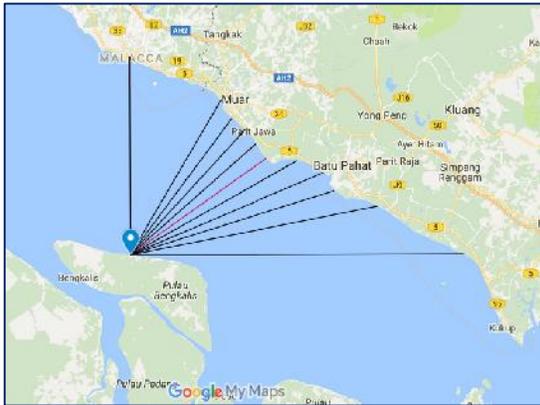
Dalam membuat mawar angin diperlukan data angin yang mencakup kecepatan angin, arah angin dan waktu saat perekaman berlangsung berupa jam, hari, bulan dan tahun. Data angin mulai dari 1 Januari 2015 pukul 00.00 WIB sampai 31 Desember 2015 pukul 23.00 WIB. Data angin disusun secara teratur dalam kolom-kolom tahun, bulan, tanggal, jam, arah angin dan kecepatan angin agar proses pembuatan mawar angin menjadi lebih mudah.



Gambar 5. Mawar Angin Bengkalis tahun 2015

Panjang jangkauan dihitung menggunakan *Google Maps*. Panjang jangkauan dilihat dari arah dominan angin yang dapat dilihat dari mawar angin yang telah didapat. Arah dominan angin di Bengkalis adalah dari Timur Laut. Berikut

penjelasan dari perhitungan *Fetch effective*.



Gambar 6. *Fetch effective* di Bengkulu

Tabel 1. *Fetch effective* di Pantai Bengkulu

Simpangan a_i	Panjang Fetch F_i (km)	$\cos a_i$	$F_i \times \cos a_i$
24	64.20	0.91	58.65
18	61.00	0.95	58.01
12	60.60	0.98	59.28
6	60.00	0.99	59.67
0	59.60	1.00	59.60
6	68.50	0.99	68.12
12	75.00	0.98	73.36
18	76.70	0.95	72.95
24	90.40	0.91	82.58
Jumlah		8.67	592.23

$$F_{eff} = \frac{\sum_{i=1}^N (F_i \times \cos a_i)}{\sum_{i=1}^N \cos a_i} = \frac{592,23}{8,67} = 68,27 \text{ km}$$

2.3.2 Analisis Gelombang Rencana

Analisis gelombang rencana dilakukan dengan metode peramalan gelombang laut dari data angin. Hal ini dikarenakan tidak tersedianya data gelombang laut di Pulau Bengkulu. Data

angin yang akan dianalisis adalah data angin pada tahun 2015. Dari data tersebut, dapat diketahui arah dominan angin yang datang (α), lama durasi angin (t) dan kecepatan maksimum dari angin yang bertiup (U). Dari peramalan tersebut didapat nilai parameter gelombang yakni tinggi gelombang (H) dan periode gelombang (t).

2.3.3 Pemodelan Numerik Pantai Bengkulu menggunakan CADMAS-Surf

Pemodelan numerik dilakukan dengan cara membuat geometri kondisi *existing* pada lokasi penelitian. Kondisi tersebut diambil pada daerah pantai yang telah memiliki bangunan pelindung pantai serta daerah pantai yang terbuka. Pemodelan berupa cross section pada daerah pantai sepanjang 750 meter yang diperoleh dari data bathimetri.

Setelah pemodelan geometri pantai dilakukan, disimulasikan gelombang laut berdasarkan kecepatan angin rencana yang telah didapat serta kondisi gelombang saat pasang tertinggi (HHWL) dan saat kondisi muka air laut rata-rata (MSL). Kondisi gelombang saat surut terendah (LLWL) tidak disimulasikan dikarenakan pada saat surut tersebut, muka air laut terlalu jauh dari tepi pantai dan pengaruhnya terhadap daerah pantai tidak terlalu berpengaruh. Seluruh pemodelan tersebut dibentuk menggunakan perangkat lunak CADMAS-Surf 2D.

2.3.4 Simulasi Gelombang

Setelah seluruh situasi *existing* dan *modification* dibentuk dalam CADMAS-Surf 2D, simulasi gelombang laut dapat dilakukan dengan memasukkan nilai tinggi gelombang (H) dan periode

gelombang (T) yang telah dihitung sebelumnya dengan metode peramalan gelombang (Usman, 2016). Simulasi tersebut dapat menggambarkan bagaimana pengaruh dan efektivitas bangun pelindung pantai terhadap gelombang yang datang ke pantai serta pengaruhnya terhadap gangguan yang akan diterima oleh pohon mangrove.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Analisis Kecepatan Angin Rencana

3.1.1 Metode *Fastest Mile Windspeed*

Kecepatan angin terbesar (*wind gusts*) dari setiap jam dalam sehari dipilih yang terbesar lalu ditabelkan sebagai “angin terbesar harian”. Angin terbesar harian yang tercatat diolah menurut metode yang diuraikan dalam *Coastal Engineering Manual* untuk mendapatkan kecepatan-kecepatan angin yang dapat membangkitkan gelombang.

Langkah pertama, angin kecepatan terbesar diambil sebagai *fastest mile windspeed*. *Fastest mile windspeed* adalah kecepatan terbesar dalam menempuh jarak satu mil (1609 m), diberi simbol μ_f . Walaupun kecepatan ini cukup besar namun durasinya biasanya sangat singkat, umumnya kurang dari 2 menit, sehingga belum cukup untuk membangkitkan gelombang, tetapi dalam proses naik turunnya dari kecepatan maksimum ini terdapat kecepatan angin yang cukup besar selama beberapa waktu yang mampu membangkitkan gelombang (Rabung, 2014).

Kecepatan angin terbesar dari seluruh rekaman adalah 12,8 m/s yang terjadi pada tanggal 3 April 2015 dari arah Timur Laut dan pada tanggal 6 Mei 2015

dari arah Utara (2 rekaman), kedua 12,1 m/s pada 14 Februari 2015 dari arah Timur Laut (1 rekaman), ketiga 12 m/s dari Timur Laut (3 rekaman). Kemudian 10-11,7 m/s terjadi sampai 85 rekaman dari arah Timur Laut yakni arah yang terbanyak kejadian angin yang besar.

Angin 12,8 m/s digunakan sebagai kecepatan angin *fastest mile windspeed* (μ_f) Langkah pertama yakni menghitung durasi *fastest mile windspeed* (t_{μ_f}).

$$\mu_f = 12,8 \text{ m/s}$$

$$t_{\mu_f} = \frac{1609}{\mu_f} = \frac{1609}{12,8} = 125,703 \text{ s} \cong 126 \text{ s}$$

Langkah kedua yaitu menghitung *1-hour averaged windspeed* yaitu kecepatan angin rata-rata dalam satu jam:

$$\frac{\mu_f}{\mu_{3600}} = 1,277 + 0,296 \tanh \left\{ 0,9 \log_{10} \left(\frac{45}{t_{\mu_f}} \right) \right\}$$

$$\frac{\mu_f}{\mu_{3600}} = 1,277 + 0,296 \tanh \left\{ 0,9 \log_{10} \left(\frac{45}{126} \right) \right\}$$

$$\frac{\mu_f}{\mu_{3600}} = 1,164$$

$$\mu_{3600} = \frac{\mu_f}{1,164} = \frac{12,8}{1,164} = 10,997 \text{ m/s}$$

$$\mu_{3600} = 10,997 \text{ m/s}$$

$$t_{\mu_{3600}} = 1 \text{ jam}$$

Inilah kecepatan angin terbesar yang bertiup selama satu jam yang diperhitungkan dapat membangkitkan gelombang.

3.1.2 Metode Kecepatan Angin Rata-rata Harian

Metode ini merupakan metode yang umum dipakai, yaitu kecepatan angin per jam dikumpulkan per hari dan dirata-ratakan harian (Rabung, 2014). Data angin

di Bengkulu selama 1 tahun beserta kecepatan angin rata-rata harian disajikan secara lengkap pada Lampiran.

Dari data kecepatan angin rata-rata harian diperoleh angin maksimum adalah $u_f = 8,91$ m/s dengan durasi dianggap $t_{\mu f}$ 24 jam.

3.1.3 Faktor Tegangan Angin

Setelah didapat kecepatan angin berdasarkan metode *Fastest Miles Windspeed* dan metode kecepatan harian, perlu diubah ke dalam faktor tegangan angin U_A dengan menggunakan rumus sebagai berikut.

$$U_A = 0,71 U^{1,23} \text{ (m/det)}$$

(a) U_A *Fastest Mile Windspeed*

$$\begin{aligned} U_{A3600} &= 0,71 U_{3600}^{1,23} \\ &= 0,71 \times 10,997^{1,23} \\ &= 13,553 \text{ m/det} \end{aligned}$$

(b) U_A Kecepatan angin rata-rata

$$\begin{aligned} U_{Af} &= 0,71 U_f^{1,23} \\ &= 0,71 \times 8,91^{1,23} \\ &= 10,459 \text{ m/det} \end{aligned}$$

Nilai U_A ini dijadikan sebagai kecepatan angin rencana yang akan digunakan sebagai peramalan gelombang laut.

3.2 Analisis Gelombang Rencana

3.2.1 Peramalan Gelombang Metode Empiris

Peramalan gelombang menggunakan nomogram dilakukan dengan cara sebagai berikut.

(a) Peramalan gelombang dari *Fastest Mile Windspeed*

Durasi kritis :

$$t_c = 68,8 \left(\frac{gF}{U_A^2} \right)^{\frac{2}{3}} \frac{U_A}{g}$$

$$t_c = 68,8 \left(\frac{g \times 68270}{13,553^2} \right)^{\frac{2}{3}} \frac{13,553}{g}$$

$$t_c = 22516,98 \text{ detik} = 6,255 \text{ jam}$$

Cek : t (1 jam) < t_c (6,255 jam)
kondisi *duration limited*, maka hitung F_{\min} kembali.

F_{\min} :

$$\begin{aligned} F_{\min} &= \frac{U_A^2}{g} \left(\frac{gt}{68,8 \cdot U_A} \right)^{\frac{3}{2}} \\ F_{\min} &= \frac{13,553^2}{9,81} \left(\frac{9,81 \times 3600}{68,8 \cdot 13,553} \right)^{3/2} \\ F_{\min} &= 4364,338 \text{ m} = 4,364 \text{ km} \end{aligned}$$

Dari nilai F_{\min} di atas, maka dapat dicari nilai tinggi dan periode gelombang dengan rumus berikut.

$$\begin{aligned} \frac{g \cdot H}{U_A^2} &= 0,0016 \left(\frac{g \cdot F}{U_A^2} \right)^{1/2} \\ \frac{9,81 \cdot H}{13,533^2} &= 0,0016 \left(\frac{9,81 \cdot 4364,338}{13,533} \right)^{1/2} \\ H &= 0,457373 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\frac{g \cdot T}{U_A} = 0,2857 \left(\frac{g \cdot F}{U_A^2} \right)^{1/3}$$

$$\frac{9,81 \cdot T}{13,533} = 0,2857 \left(\frac{9,81 \cdot 4364,338}{13,533^2} \right)^{1/3}$$

$$T = 2,429101 \text{ detik}$$

- (b) Peramalan Gelombang dari Kecepatan Angin Rata-rata Harian

Durasi kritis :

$$t_c = 68,8 \left(\frac{gF}{U_A^2} \right)^{\frac{2}{3}} \frac{U_A}{g}$$

$$t_c = 68,8 \left(\frac{g \times 68270}{10,45942^2} \right)^{\frac{2}{3}} \frac{10,45942}{g}$$

$$t_c = 24548 \text{ detik} = 6,819 \text{ jam}$$

Cek: t (24 jam) > t_c (6,819 jam), oke

Maka dapat dicari nilai tinggi dan periode gelombang dengan rumus berikut.

$$\frac{g \cdot H}{U_A^2} = 0,0016 \left(\frac{g \cdot F}{U_A^2} \right)^{1/2}$$

$$\frac{9,81 \cdot H}{10,45942^2} = 0,0016 \left(\frac{9,81 \cdot 68270}{10,45942} \right)^{1/2}$$

$$H = 1,396073 \text{ m}$$

$$\frac{g \cdot T}{U_A} = 0,2857 \left(\frac{g \cdot F}{U_A^2} \right)^{1/3}$$

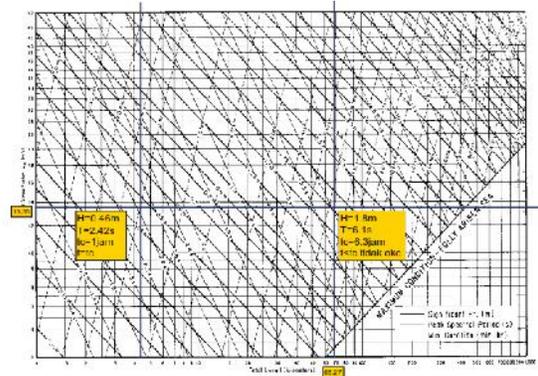
$$\frac{9,81 \cdot T}{10,45942} = 0,2857 \left(\frac{9,81 \cdot 68270}{10,45942^2} \right)^{1/3}$$

$$T = 5,572415 \text{ detik}$$

3.2.2 Peramalan Gelombang Metode Nomogram

Peramalan gelombang menggunakan nomogram dilakukan dengan menarik garis faktor tegangan angin U_A secara horizontal dan panjang jangkauan *Fetch* efektif secara vertikal kemudian memastikan durasi angin lebih besar dari durasi kritis ($t > t_c$) yang terjadi yang disebut *duration limited*.

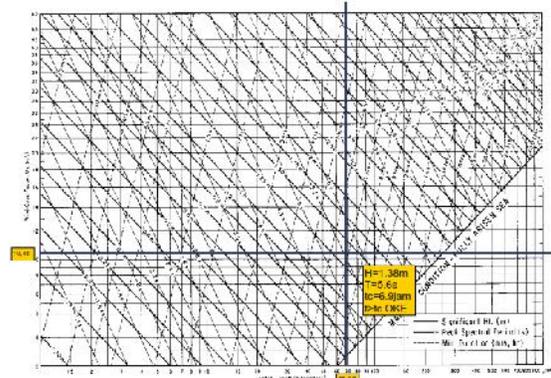
- (a) Nomogram peramalan gelombang dari *Fastest Mile Windspeed*



Gambar 7. Nomogram peramalan gelombang dari *Fastest Mile Windspeed*

Pada nomogram di atas terlihat durasi angin ($t = 1$ jam) lebih kecil dari durasi kritisnya ($t_c = 6,3$ jam) saat penarikan garis pertama yang berarti mencapai *duration limited*. Hal ini menandakan bahwa gelombang laut yang diakibatkan oleh angin tersebut tidak sepenuhnya terjadi pada jangkauan sepanjang 68,27 km (*fetch* efektif) tersebut. Maka dari itu, panjang jangkauan diperkecil dengan menggeser garis jangkauan ke kiri hingga durasi angin yang terjadi sama dengan durasi kritisnya ($t = t_c$). Sehingga didapat tinggi gelombang laut H sebesar 0,46 m dan periode T sebesar 2,42 detik.

- (b) Nomogram peramalan gelombang dari kecepatan angin rata-rata harian



Gambar 8. Nomogram peramalan gelombang dari kecepatan angin rerata harian

Nilai faktor tegangan angin UA sebesar 10,46 m/s dan panjang jangkauan *fetch* efektif sebesar 68,27 km digambarkan pada nomogram di atas. Dari nomogram tersebut didapat besar tinggi gelombang laut H sebesar 1,38 m dan periode T sebesar 5,6 detik. Durasi angin yang terjadi ($t = 24$ jam) lebih besar dari durasi kritisnya ($t_c = 6,9$ jam) yang menandakan bahwa kondisi ini telah memenuhi syarat *duration limited*.

3.2.3 Perbandingan gelombang metode empiris dan nomogram

Nilai-nilai permalan gelombang berupa tinggi H dan periode T gelombang menggunakan metode empiris dan metode nomogram dirangkum di dalam tabel berikut ini.

Tabel 2. Perbandingan hasil H dan T menggunakan empiris dan nomogram

Metode	Empiris		Nomogram	
	H (m)	T (s)	H (m)	T (s)
Fastest Mile Windspeed	0,457	2,429	0,46	2,42
Kecepatan Angin Rerata	1,396	5,572	1,38	5,6

Dari tabel di atas, terlihat bahwa hasil peramalan gelombang laut menggunakan dua metode, tidak terlalu berbeda antara metode empiris dengan metode nomogram. Karena dikhawatirkan ketidaktepatan pada nomogram, sehingga dipilihlah gelombang hasil dari metode empiris sebagai parameter simulasi gelombang berikutnya. Namun, diantara metode Fastest Mile Windspeed dengan Kecepatan Angin Rerata, dipilih gelombang signifikan tertinggi sebagai gelombang rencana, yaitu gelombang signifikan dari metode Kecepatan Angin Rerata, yakni H_s sebesar 1,3961 m dan T_s sebesar 5,5724 detik.

3.3 Simulasi Gelombang

3.3.1 Skenario Simulasi

Gelombang di daerah pantai terjadi dalam beberapa kondisi yang semuanya perlu untuk diperhatikan. Simulasi gelombang pada penelitian ini dilakukan pada beberapa skenario yang dapat dilihat pada tabel di bawah.

Tabel 3. Skenario Simulasi Gelombang

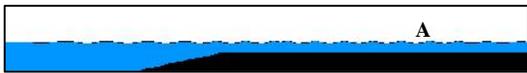
No	Alternatif	Kodisi Pasang Surut
1	Tanpa Pelindung Pantai	Pasang Tertinggi (HHWL)
2	Breakwater Trapesium	Pasang Tertinggi (HHWL)
3	Breakwater Tegak	Pasang Tertinggi (HHWL)
4	Tanpa Pelindung Pantai	Muka Air Rata-rata (MSL)
5	Breakwater Trapesium	Muka Air Rata-rata (MSL)
6	Breakwater Tegak	Muka Air Rata-rata (MSL)

3.3.2 Analisis Hasil Simulasi Gelombang

Observasi penelitian ini dilakukan pada kondisi *existing* pantai Selat Baru Bengkalis, yakni daerah yang terdapat bangunan pelindung breakwater (Case-1) dan daerah yang terpapar langsung ke laut terbuka (Case-2). Titik pengukuran kecepatan gelombang dilakukan di titik A yaitu daerah tepi pantai yang akan dijadikan tempat penanaman bibit mangrove yang terletak pada 150 meter dari tepi pantai. Hasil geometri dan simulasi gelombang dalam CADMAS-Surf 2D terhadap masing-masing skenario dapat dilihat pada gambar di bawah ini.

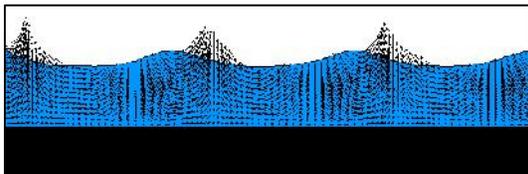
Alternatif 1

Alternatif 1 merupakan kondisi yang telah ada (*existing*) yakni keadaan pantai terbuka yang berhadapan langsung dengan laut terbuka dan belum terdapat bangunan pelindung pantai seperti pemecah gelombang. Pada kondisi ini, gelombang disimulasi pada saat keadaan pasang tertinggi (HHWL) dengan kedalaman 2,6 meter. Hasil simulasi alternatif 1 dapat dilihat pada Gambar 9 berikut ini.



Gambar 9. *Snapshot* hasil simulasi numerik Alternatif 1

Pada Gambar 9 di atas, terlihat bahwa gelombang pada titik A masih tinggi dan cenderung memiliki kecepatan yang besar. Keadaan seperti ini tidak cocok untuk dijadikan sebagai tempat tumbuhnya bibit pohon mangrove.



Gambar 10. Gelombang laut tanpa pelindung pantai (Alternatif 1)

Terlihat pada Gambar 10 arah kecepatan gelombang pada daerah pantai yang tidak terlindungi bergerak membentuk gelombang-gelombang yang tinggi. Dari simulasi oleh perangkat lunak CADMAS-Surf dapat diketahui kecepatan maksimum gelombang yang terjadi pada titik A adalah sebesar 3,857 m/s.

Alternatif 2

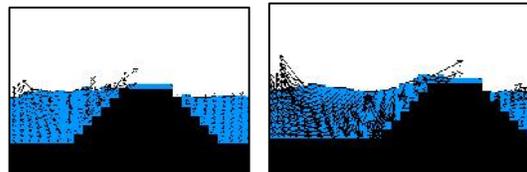
Alternatif 2 merupakan kondisi pantai dimana telah terdapat bangunan

pelindung pantai (*breakwater*) dengan sisi miring. Keadaan ini juga merupakan kondisi yang telah ada sebagian di Pantai Selat Baru. Pada kondisi ini, gelombang disimulasi pada saat keadaan pasang tertinggi (HHWL) dengan kedalaman 2,6 meter. Hasil simulasi alternatif 2 dapat dilihat pada Gambar 11 berikut ini.



Gambar 11. *Snapshot* hasil simulasi numerik Alternatif 2

Pada Gambar 11 di atas, terlihat bahwa gelombang pada titik A sudah lebih tenang dikarenakan telah tereduksi oleh bangunan pemecah gelombang didepannya.



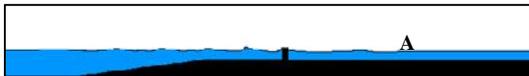
Gambar 12. Gelombang menabrak *breakwater* sisi miring Alternatif 2

Pada Gambar 12 di atas, gelombang laut dengan tinggi dan kecepatan gelombang yang besar datang dan menabrak dinding sisi miring *breakwater* membuat tinggi dan kecepatan gelombang tereduksi. Sehingga, gelombang pada daerah yang terlindungi *breakwater* menjadi lebih tenang.

Alternatif 3

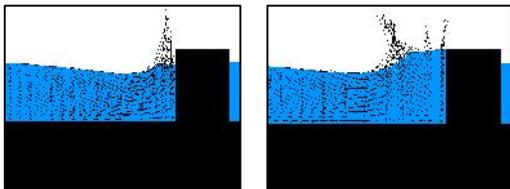
Tidak jauh berbeda dengan alternatif 2, pada alternatif 3 ini merupakan kondisi pantai dimana telah terdapat bangunan pelindung pantai (*breakwater*) namun dikondisikan dengan sisi tegak. Keadaan ini bukan merupakan kondisi yang telah ada di Pantai Selat Baru. Kondisi ini sebagai alternatif lain

dari bentuk *breakwater* yang telah ada yakni *breakwater* sisi miring. Pada kondisi ini, gelombang disimulasi pada saat keadaan pasang tertinggi (HHWL) dengan kedalaman 2,6 meter. Hasil simulasi alternatif 3 dapat dilihat pada Gambar 13 berikut ini.



Gambar 13. Snapshot hasil simulasi numerik Alternatif 3

Pada Gambar 13 di atas, terlihat bahwa gelombang pada titik A sudah lebih tenang dikarenakan telah tereduksi oleh bangunan pemecah gelombang didepannya.



Gambar 14. Gelombang menabrak *breakwater* sisi tegak (Alternatif 3)

Pada gelombang di atas, gelombang yang datang menabrak dinding tegak dari *breakwater* sehingga gelombang menjadi tereduksi. Peristiwa ini hampir sama dengan alternatif 2 yakni dengan *breakwater* sisi miring. Pada alternatif ini terlihat

Alternatif 4

Alternatif 4 merupakan kondisi yang telah ada (*existing*) yakni keadaan pantai terbuka yang berhadapan langsung dengan laut terbuka dan belum terdapat bangunan pelindung pantai seperti pemecah gelombang. Pada kondisi ini, gelombang disimulasi pada saat keadaan muka air rata-rata (MSL) dengan

kedalaman 1,3 meter. Hasil simulasi alternatif 1 dapat dilihat pada Gambar 15 berikut ini.



Gambar 15. Snapshot hasil simulasi numerik Alternatif 4

Pada gambar di atas, terlihat bahwa gelombang pada titik A masih tinggi dan cenderung memiliki kecepatan yang besar. Keadaan seperti ini tidak cocok untuk dijadikan sebagai tempat tumbuhnya bibit pohon mangrove.

Alternatif 5

Alternatif 5 merupakan kondisi pantai dimana telah terdapat bangunan pelindung pantai (*breakwater*) dengan sisi miring. Keadaan ini juga merupakan kondisi yang telah ada sebagian di Pantai Selat Baru. Pada kondisi ini, gelombang disimulasi pada saat keadaan muka air rata-rata (MSL) dengan kedalaman 1.3 meter. Hasil simulasi alternatif 5 dapat dilihat pada Gambar 16 berikut ini.



Gambar 16. Snapshot hasil simulasi numerik Alternatif 5

Pada gambar 16 di atas, terlihat bahwa gelombang pada titik A sudah lebih tenang dikarenakan telah tereduksi oleh bangunan pemecah gelombang didepannya.

Alternatif 6

Tidak jauh berbeda dengan alternatif 5, pada alternatif 6 ini merupakan kondisi pantai dimana telah terdapat bangunan pelindung pantai (*breakwater*) namun dikondisikan dengan

sisi tegak. Keadaan ini bukan merupakan kondisi yang telah ada di Pantai Selat Baru. Kondisi ini sebagai alternatif lain dari bentuk *breakwater* yang telah ada yakni *breakwater* sisi miring. Pada kondisi ini, gelombang disimulasi pada saat keadaan pasang tertinggi (HHWL) dengan kedalaman 1,3 meter. Hasil simulasi alternatif 6 dapat dilihat pada Gambar 17 berikut ini.

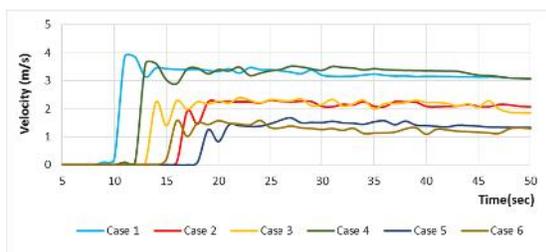


Gambar 17. Snapshot hasil simulasi numerik Alternatif 6

Pada Gambar 17 di atas, terlihat bahwa gelombang pada titik A sudah lebih tenang dikarenakan telah tereduksi oleh bangunan pemecah gelombang di depannya.

3.3.3 Analisis hasil simulasi berbagai alternatif

Profil kecepatan gelombang yang terjadi pada titik A terhadap waktu dalam berbagai kondisi ditunjukkan pada grafik Gambar 18 di bawah ini.



Gambar 18. Profil kecepatan pada daerah titik A

Dari Gambar 18 di atas, dapat dilihat bahwa kecepatan gelombang pada daerah pantai tanpa bangunan pelindung (Case-1 dan 4) jauh lebih tinggi dari pada daerah pantai yang terlindungi *breakwater*.

Tabel 4 menunjukkan kecepatan maksimum gelombang pada titik A dari gambar 18. Dengan analisis gelombang pada daerah dataran pantai yang direncanakan sebagai tempat restorasi pohon mangrove, dapat dihitung nilai dari Froude dengan menggunakan rumus berikut.

$$Fr = \frac{v}{\sqrt{gh}}$$

Tabel 4. Kecepatan maksimum gelombang dan nilai Froude pada titik A

Case	Velocity (m/s)	Wave Height (m)	Froude
1	3,857	1,12	1,16
2	2,398	0,69	0,92
3	2,314	0,72	0,87
4	3,622	1,2	1,06
5	1,587	0,35	0,86
6	1,684	0,41	0,84

Tabel 4 di atas menunjukkan kecepatan maksimum dan nilai Froude pada titik A. Dapat dilihat bahwa kecepatan gelombang antara daerah yang terdapat *breakwater* lebih rendah daripada di daerah yang terbuka. Hal ini berarti bahwa *breakwater* mereduksi kecepatan gelombang yang datang.

$$\begin{aligned} \text{Reduksi velocity} &= \frac{3,857-2,398}{3,857} \times 100\% \\ &= 37,827\% \quad 40\% \end{aligned}$$

Dalam Tabel 4, diketahui bahwa Fr Case-1 > 1 sedangkan Fr Case-2 dan Case-3 < 1, yang berarti arus gelombang pada daerah pantai yang terdapat bangunan pelindung *breakwater* lebih rendah daripada daerah yang tidak memiliki pelindung. Diketahui bahwa apabila nilai Fr > 1, maka aliran air yang terjadi

merupakan superkritis, sedangkan jika $Fr < 1$, maka subkritis.

Fenomena ini secara langsung mempengaruhi kondisi daerah pantai tempat penanaman bibit pohon mangrove. Hal ini dikarenakan bibit pohon mangrove hanya aman dan dapat tumbuh pada perairan yang tenang hingga pohon mangrove mencapai umur 5 tahun dimana akar-akarnya sudah mengikat kuat pada tanah. Untuk itu, dapat disimpulkan bahwa penanaman bibit mangrove harus dilakukan pada daerah pantai yang sudah terlindungi oleh *breakwater* agar bibit tersebut dapat tumbuh dengan aman dan dapat mencapai tujuan awal yakni mengembalikan kondisi pantai Bengkalis seperti semula.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dan pembahasan penelitian pada gelombang pantai Bengkalis, maka secara umum dapat disimpulkan beberapa hal penting diantaranya adalah sebagai berikut.

1. Gelombang laut terjadi akibat bangkitan oleh angin yang datang dari arah dominan Timur Laut dengan panjang jangkauan efektif (*Fetch effective*) sebesar 68,27 km.
2. Karakteristik gelombang yang terjadi adalah gelombang signifikan dengan tinggi gelombang (H_s) sebesar 1,396 m dan periode (T) sebesar 5,572 detik yang didapat dari peramalan gelombang menggunakan metode kecepatan angin rata-rata.
3. Dari analisis simulasi gelombang di daerah *existing* pantai Selat Baru, didapat bahwa arus gelombang di daerah yang terlindungi *breakwater*

lebih rendah daripada daerah yang terpapar langsung ke laut terbuka.

4. Penanaman bibit mangrove harus dilakukan pada daerah pantai yang telah terlindungi oleh *breakwater* karena pada daerah ini memiliki arus gelombang yang konduktif dan aman terhadap bibit mangrove yang baru ditanami.

V. DAFTAR PUSTAKA

- Douglas, R. M. 2001. *Physical Oceanography. Department of Geophysical Science*. University of Chicago, Illinois.
- News Detik. (2016, April 27). *Abrasi di Pulau Bengkalis Riau Makin Mengkhawatirkan*. Retrieved from DetikNews: <http://news.detik.com/berita/3198236/abrasi-di-pulau-bengkalis-riau-makin-mengkhawatirkan>
- Noor, Y. R. Khazali, M, dan Suryadiputra, I. N. N. (1999). *Panduan Pengenalan. Mangrove di Indonesia*. Wetlands International-Indonesia Programme. Bogor.
- Rabung, F. (2014). Prediksi Gelombang Signifikan Sekitar Pantai Makassar untuk Perencanaan Pembangunan Infrastruktur Pantai, 8, 978–979.
- Sutikno, S. (2014). Rate of Shoreline Change Analysis of Bengkalis Coast Using Satellite Imagery Data. *The 31st Annual Conference of Indonesian Association of Hydraulic Engineer*, 616–625. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.2074.5766>
- Sutikno, S. (2017). *Shoreline Change Analysis of Peat Soil Beach in*

- Bengkalis Island Based on GIS and RS.* International Journal of Engineering and Technology, 233.
- Triatmodjo, B. (1999). *Teknik Pantai*. Yogyakarta: Beta Offset.
- Usman, F., & Rahim, S. E. (2016). Investigate the Effectiveness of Construction using CADMAS Surf 2D Seawall, 1065.
- Wijatmiko, I., & Murakami, K. (2011). Study on the Interaction Between Tsunami Bore and Cylindrical Structure with Weir.