

Model Numerik Disipasi Gelombang oleh Model Vegetasi Menggunakan Program XBeach

Mega Septia Sarda Dewi^{1*}, Satria Damarnegara¹, Umboro Lasminto¹

Departemen Teknik Sipil, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya¹

Koresponden*, Email: megaseptia.ms@gmail.com

Info Artikel		Abstract
Diajukan	09 Februari 2021	<i>Abrasion process in coast is caused by natural processes of hydro-oceanographic processes such as ocean wave impacts, fluctuations in sea levels and current resulting in the deterioration of the coastline and sedimentation. One of the attempts in tackling abrasion is by planting vegetation. Vegetation can dampen wave energy and has an important role in coastal protection. Therefore, it is necessary to conduct research on vegetations to find out the wave energy dissipation. The purpose of this study was to compare the results of laboratory research with numeric modeling by XBeach of wave dissipation. This research is based on laboratory physical modeling data that has been done by previous studies and which will be validated. The data used are domain model, wave data and vegetation characteristic (density, height and stem diameter of vegetation). The result of the numeric modeling resulted in an average wave dissipation of 66% and the validation test results in a good performance with an average RMSE value of 0.024.</i>
Diperbaiki	22 Februari 2021	
Disetujui	22 Februari 2021	

Keywords: wave dissipation, characteristic of vegetation, XBeach

Abstrak
Proses abrasi pantai di wilayah pesisir disebabkan oleh proses alami berupa proses hidro-oseanografi seperti hampasan gelombang laut, fluktuasi muka air laut dan arus sehingga mengakibatkan terjadinya kemunduran garis pantai dan terjadi fenomena sedimentasi. Salah satu upaya dalam menanggulangi abrasi adalah dengan penanaman vegetasi. Vegetasi dapat meredam energi gelombang dan memiliki peran penting dalam perlindungan pantai. Oleh karena itu perlu dilakukan penelitian terhadap vegetasi untuk mengetahui tingkat disipasi gelombang. Tujuan dari penelitian ini untuk membandingkan hasil penelitian laboratorium dengan pemodelan numerik oleh XBeach dari besar disipasi gelombang oleh vegetasi. Penelitian ini berdasarkan pada data pemodelan fisik laboratorium yang telah dilakukan oleh penelitian sebelumnya dan yang akan divalidasi. Data yang digunakan adalah domain model, data gelombang dan data karakteristik vegetasi (kepadatan, tinggi dan diameter batang). Hasil dari pemodelan numerik menghasilkan disipasi rata-rata 66% dan uji keandalan pemodelan numerik menghasilkan performa yang baik dengan nilai uji keandalan RMSE rata-rata 0.024.

Kata kunci: disipasi gelombang, karakteristik vegetasi, XBeach

1. Pendahuluan

Proses abrasi pantai di wilayah pesisir disebabkan oleh proses alami berupa proses hidro-oseanografi seperti hampasan gelombang laut, fluktuasi muka air laut dan arus sepanjang pantai (*Longshore Current*) sehingga mengakibatkan terjadinya kemunduran garis pantai dan terjadi fenomena sedimentasi. Salah satu upaya dalam mencegah abrasi adalah dengan penanaman hutan mangrove. Kemampuan mangrove untuk mengembangkan wilayahnya ke arah laut merupakan salah satu peran penting mangrove dalam pembentukan lahan baru. Akar mangrove mampu mengikat dan menstabilkan substrat lumpur, pohonnya mengurangi energi gelombang dan memperlambat arus, sementara vegetasi secara keseluruhan dapat memerangkap sedimen [1].

Eksperimen mangrove di laboratorium dilakukan oleh Ozeren et al, dengan menghitung disipasi gelombang seba-

gai fungsi dari jenis vegetasi, kepadatan, dan tinggi, serta kondisi gelombang. Penelitian ini menyajikan koefisien drag massal yang dapat digunakan untuk memperkirakan disipasi gelombang melalui spesies vegetasi umum yang dapat dicirikan oleh tindakan sederhana seperti kepadatan tiap jarak, diameter batang, dan tinggi pohon [2].

Selain Ozeren et al, Maza et al, juga melakukan eksperimen 3D dalam skala besar yang menilai pengaruh parameter aliran dan vegetasi yang berbeda terhadap disipasi gelombang. Berdasarkan penelitian Maza et al, nilai densitas dan biomassa yang lebih tinggi menyebabkan tingkat disipasi yang lebih tinggi [3].

Oleh karena itu untuk mengetahui kemampuan sebuah model numerik, maka penelitian ini bertujuan untuk membandingkan hasil antara pemodelan laboratorium dan

pemodelan numerik untuk pengaruh vegetasi dalam meredam gelombang (disipasi gelombang).

2. Tinjauan Pustaka

2.1 Penelitian Sebelumnya

Penelitian tentang vegetasi mangrove dilakukan oleh Ozeren et al, di laboratorium. Ozeren et al, melakukan percobaan laboratorium mengukur disipasi gelombang sebagai fungsi dari jenis vegetasi, kepadatan, dan tinggi, serta kondisi gelombang [2].

Hasil dari penelitian Ozeren et al, adalah koefisien drag lebih tinggi untuk spesies vegetasi hidup daripada model vegetasi yang kaku dan fleksibel. Hasilnya juga menunjukkan bahwa variasi vertikal dari kepadatan tanaman sangat mempengaruhi koefisien drag [2].

2.2 Gelombang

Gelombang adalah gaya yang dibangkitkan oleh tiupan angin dipermukaan laut, gelombang pasang surut dibangkitkan oleh gaya tarik benda-benda langit terutama matahari dan bulan terhadap bumi dan sebagainya.

Klasifikasi gelombang berdasarkan kedalaman relatif, yaitu perbandingan antara kedalaman air dan panjang gelombang (d/L), gelombang dikelompokkan menjadi 3 yaitu gelombang laut dangkal ($\frac{d}{L} < \frac{1}{25}$), gelombang laut dalam ($\frac{d}{L} > \frac{1}{25}$) dan gelombang laut transisi ($\frac{d}{L} \approx \frac{1}{25}$) [4].

2.3 Efek Pendangkalan Gelombang

Perubahan yang terjadi pada saat gelombang bergerak menuju pantai. Efek pendangkalan mengakibatkan kecepatan gelombang berkurang, panjang gelombang berkurang dan tinggi gelombang bertambah [4].

2.4 Refraksi Gelombang

Refraksi gelombang terjadi karena adanya pengaruh perubahan kedalaman laut. Di daerah di mana kedalaman air lebih besar dari setengah panjang gelombang, gelombang menjalar tanpa dipengaruhi dasar laut. Tetapi di laut transisi dan dangkal, dasar laut mempengaruhi gelombang [4].

2.5 Difraksi Gelombang

Difraksi gelombang terjadi apabila gelombang datang terhalang oleh suatu rintangan seperti pemecah gelombang, maka gelombang tersebut akan membelok disekitar ujung rintangan dan masuk di daerah terlindungi di belakangnya [4].

2.6 Energi dan Tenaga Gelombang

Tenaga gelombang memakai rumus berikut:

$$P = \frac{nE}{T} \quad (2)$$

dengan:

$$n = \frac{1}{2} \left(1 + \frac{2kd}{\sinh 2kd} \right) \quad (3)$$

2.7 Teori Redaman Gelombang

Menurut CERC, gelombang yang menjalar melalui suatu rintangan, sebagian dari energi gelombang akan dihancurkan melalui proses gesekan, turbulensi dan gelombang pecah, dan sisanya akan dipantulkan (refleksi), dihancurkan (disipasi) dan yang diteruskan (transmisi) tergantung dari karakteristik gelombang datang (periode, tinggi gelombang dan panjang gelombang), tipe perlindungan pantai (permukaan halus atau kasar) dan dimensi serta geometri perlindungan (kemiringan, elevasi dan lebar halangan) serta kondisi lingkungan setempat (kedalaman air dan kontur dasar pantai) [5].

2.8 Prinsip Kerja Vegetasi Dalam Memberikan Pengaruh Disipasi Terhadap Gelombang.

Keberadaan vegetasi air di dalam area perambatan gelombang atau pemecah gelombang menghasilkan mekanisme disipasi tambahan untuk gelombang pendek.

Disipasi gelombang pendek akibat vegetasi dihitung sebagai fungsi gelombang lokal dan beberapa parameter vegetasi. Vegetasi dapat dibuat skema dalam sejumlah elemen vertical dengan masing-masing properti tertentu. Dengan cara ini efek redaman gelombang dari vegetasi dengan sistem perakaran yang relative rapat tetapi area batang yang jarang dapat dimodelkan. Karakteristik vegetasi yang digunakan sebagai parameter dalam persamaan disipasi vegetasi adalah C_d (koefisien drag), b_v (diameter batang), N (jumlah kepadatan vegetasi/m²) dan ketinggian vegetasi [6].

2.9 Simulasi Model Numerik *XBeach*

Simulasi penelitian ini menggunakan program *XBeach*. *XBeach* merupakan model numerik *open-source* yang dikembangkan untuk mensimulasikan proses hidrodinamik dan morfodinamik dan pengaruh pada pantai berpasir dan kondisi ekstrim (badai). *XBeach* salah satu model numerik penjalaran gelombang yang dikembangkan oleh Roelvink et al, [6].

Untuk rumus energi total gelombang tiap satu satuan lebar gelombang adalah:

$$E = \frac{\rho g H^2 L}{8} \quad (1)$$

Pemodelan numerik dengan program *XBeach* pada penelitian ini menggunakan proses hidrodinamik dengan mode *stationary* untuk menghitung variasi gelombang pendek pada skala kelompok gelombang dan gelombang panjang yang terkait dan mensimulasi efek dari vegetasi dalam membantu meredam tinggi gelombang air laut [6].

2.10 Disipasi Gelombang oleh Program *XBeach*

XBeach ada 3 proses disipasi gelombang pendek yang dapat dihitung yaitu gelombang pecah, gesekan bawah, dan vegetasi.

- Disipasi Gelombang Pecah (Dw)

Menurut Roelvink, perumusan disipasi akibat gelombang pecah adalah sebagai berikut [7]:

$$\bar{D}W = 2 \frac{\alpha}{T_{rep}} Q_b E_w \quad (4)$$

dimana:

- α = koefisien disipasi gelombang
- Trep = periode gelombang representative
- Qb = gelombang pecah
- Ew = energi dari gelombang

- Disipasi Gesekan Bawah (Df)

Menurut Lowe, Falter, Koseff, Monismith, & Atkinson, Perumusan gelombang disipasi akibat gesekan bawah adalah sebagai berikut [8]:

$$D_f = \frac{2}{3\pi} \rho f_w \left(\frac{\pi H_{rms}}{T_{m01} \sinh(kh)} \right)^3 \quad (5)$$

Dimana:

- f_w = koefisien gesek gelombang
- H_{rms} = tinggi gelombang root mean square
- k = bilangan gelombang
- h = kedalaman air local

- Disipasi Vegetasi (Dv)

Disipasi gelombang pendek akibat vegetasi dihitung sebagai fungsi tinggi gelombang local dan beberapa parameter vegetasi. Disipasi dihitung sebagai jumlah vegetasi per lapisan vegetasi.

$$D_v = \sum_{i=1}^{n_v} D_{v,i}$$

Dimana:

- $D_{v,i}$ = disipasi akibat vegetasi di lapisan i
- n_v = jumlah lapisan vegetasi

Disipasi tiap lapisan sebagai berikut:

$$D_{v,i} = A_v \cdot \frac{\rho \bar{C}_{D,i} b_{v,i} N_{v,i}}{2\sqrt{\pi}} \left(\frac{kg}{2\sigma} \right)^3 H_{rms}^3 \quad (6)$$

$$A_v = \frac{(\sinh^2 k \alpha_i h - \sinh^2 k \alpha_{i-1} h) + 3(\sinh k_{ih} - \sinh k_{i-1} h)}{3k \cosh^3 kh} \quad (7)$$

dimana:

- C_D = koefisien drag
- $b_{v,i}$ = diameter batang vegetasi
- $N_{v,i}$ = kepadatan vegetasi
- α_i = relative tinggi vegetasi (h_v/h) untuk lapisan i

2.11 Redaman oleh Vegetasi

Menurut Dalrymple dan Van Rooijen et al. adanya vegetasi air dalam penyebaran gelombang atau gelombang pecah mungkin tidak hanya menghasilkan disipasi gelombang pendek tetapi juga redaman dari gelombang infragravitasi atau aliran rata-rata. Karena keduanya gelombang panjang dan aliran rata-rata sepenuhnya diselesaikan dengan persamaan gelombang dangkal non-linear, efek dari vegetasi dapat dimodelkan menggunakan gaya drag (taha-

nan), yang mana dapat langsung ditambahkan pada persamaan momentum [9].

$$F_v = F_D = \frac{1}{2} \rho C_D b_v N u |u| \quad (8)$$

Dimana:

- C_D = koefisien drag
- b_v = diameter batang vegetasi
- N = kepadatan vegetasi
- u = kecepatan gelombang dan arus

2.12 Uji Keandalan

Uji keandalan digunakan untuk membandingkan performa antar model. Dalam penelitian ini yang akan dibandingkan adalah performa model numerik terhadap model laboratorium. Uji keandalan penelitian ini menggunakan *Root Mean Square Errors* (RMSE). RMSE bertujuan untuk mempresentasikan rata-rata kuadrat simpangan (selisih) antara nilai keluaran model terhadap nilai pengukuran atau target, dimana semakin kecil (mendekati 0) nilai RMSE maka hasil prediksi akan semakin akurat atau performa model semakin baik. Persamaan RMSE:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X-Y)^2}{n}} \quad (9)$$

dimana:

RMSE = nilai *Root Mean Square Errors*

Y = nilai permodelan numerik

X = nilai permodelan fisik

n = jumlah data

3. Metode

Pada penelitian ini menggunakan model numerik dari program *XBeach*. Diagram alir dalam penelitian ini dapat dilihat pada **Gambar 1**.

3.1 Data Input

Data yang dibutuhkan untuk simulasi menggunakan data dari penelitian sebelumnya yaitu penelitian laboratorium Ozeren data tersebut antara lain:

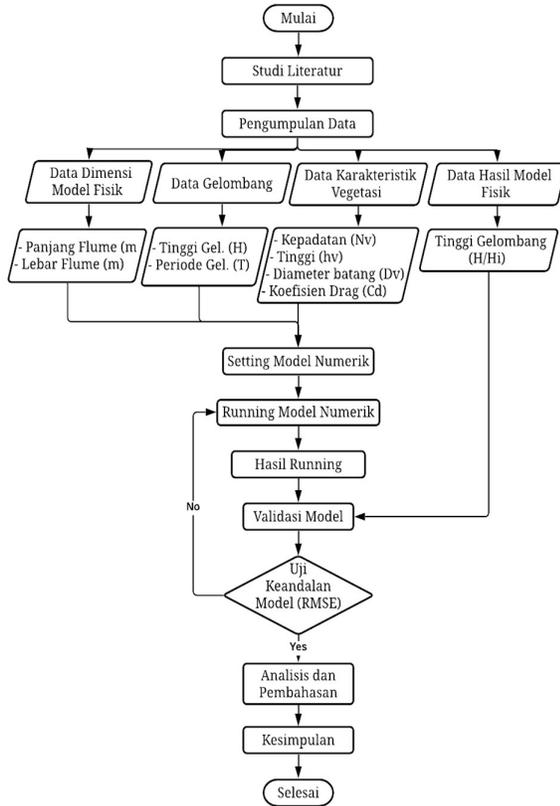
1. Data dimensi model laboratorium dari penelitian sebelumnya. Data dimensi model dengan panjang 20.6 m dan lebar 0.69 m
2. Data Gelombang.
Data gelombang dapat dilihat pada **Tabel 1**.
3. Data Karakteristik Vegetasi.

Data karakteristik vegetasi berupa kepadatan, tinggi, diameter batang dan koefisien drag yang dapat dilihat pada **Tabel 2**.

Semua data input untuk pemodelan numerik menggunakan data dari penelitian laboratorium Ozeren.

Pada penelitian pemodelan numerik ini menggunakan penyederhanaan asumsi vegetasi mangrove dengan menggunakan tiang-tiang, dikarenakan pemodelan numerik yang

memiliki keterbatasan tidak dapat membuat model seperti vegetasi nyata/mangrove. Jadi hanya berupa tiang sebagai model penelitian.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Tabel 1 Data Parameter Gelombang[2]

No	Parameter Gelombang	
1	Tinggi Gelombang	0.06m
2	Periode Gelombang	1 s
3	Kedalaman air	0.5 m

3.2 Setting Program XBeach

3.2.1 Domain Model

Pada penelitian ini untuk input model validasi menggunakan data-data dari penelitian laboratorium sebelumnya yang dilakukan oleh Ozeren. Data-data tersebut berupa domain model dengan ukuran flume 0.69m x 20.6m dan panjang bentang vegetasi 3.6m dapat dilihat pada **Gambar**

3.2.2 Kondisi Batas

Kondisi batas dalam pemodelan ini menggunakan *wave boundary condition*, *flow boundary condition* dan *tide boundary condition*.

A. Wave Boundary Condition

Wave boundary condition pada pemodelan ini menggunakan kondisi batas tinggi gelombang, periode gelombang dan arah gelombang.

B. Flow Boundary Condition

Flow boundary condition pada pemodelan ini menggunakan 2 bagian yaitu front dan back. Pada bagian front menggunakan kondisi batas ketinggian air dengan variasi waktu dengan membiarkan gelombang yang merambat tegak lurus menuju batas absorbed atau melewati batas dengan refleksi minimum dan back menggunakan wall atau no-flux boundary, dimana kondisi batas yang menghasilkan kecepatan nol.

C. Tide Boundary Condition

Tide boundary condition pada pemodelan ini menggunakan kedalaman air.

3.3 Running Model

Setelah melakukan setting model, maka dilakukan proses *running* model dengan waktu simulasi yang telah ditentukan sesuai kebutuhan. Hasil dari pemodelan ini berupa tingkat disipasi gelombang.

2.

Tabel 2 Data Karakteristik Vegetasi [2]

No	Tipe Vegetasi	Kepadatan Nv/m^2	Tinggi Batang h_v (m)	Diameter Batang, D_v (mm)	Koef Drag C_d
1	Rigid	156	0.63	9.4	2.39
2	Rigid	350	0.63	9.4	2.49
3	Rigid	350	0.48	9.4	1.97
4	Rigid	623	0.63	9.4	2.55
5	Flexible	350	0.48	9.4	1.83
6	Vegetasi nyata	545	0.62	5.1	3.39
7	Vegetasi nyata	405	0.59	6.5	4.61
8	Vegetasi nyata	2857	1.03	2.4	2.41



Gambar 2. Domain Model dengan Panjang 20.6 m dan Lebar 0.69m

3.4 Validasi Model

Validasi model merupakan pengecekan terhadap hasil dari pemodelan numerik agar mendapatkan hasil yang sama dengan hasil dari pemodelan fisik laboratorium peneliti sebelumnya. Tujuan dari proses validasi ini adalah untuk mengetahui tingkat keakuratan model. Penentuan akurasi

model dilakukan dengan uji keandalan model berdasarkan persamaan *Root Mean Square Errors* (RMSE).

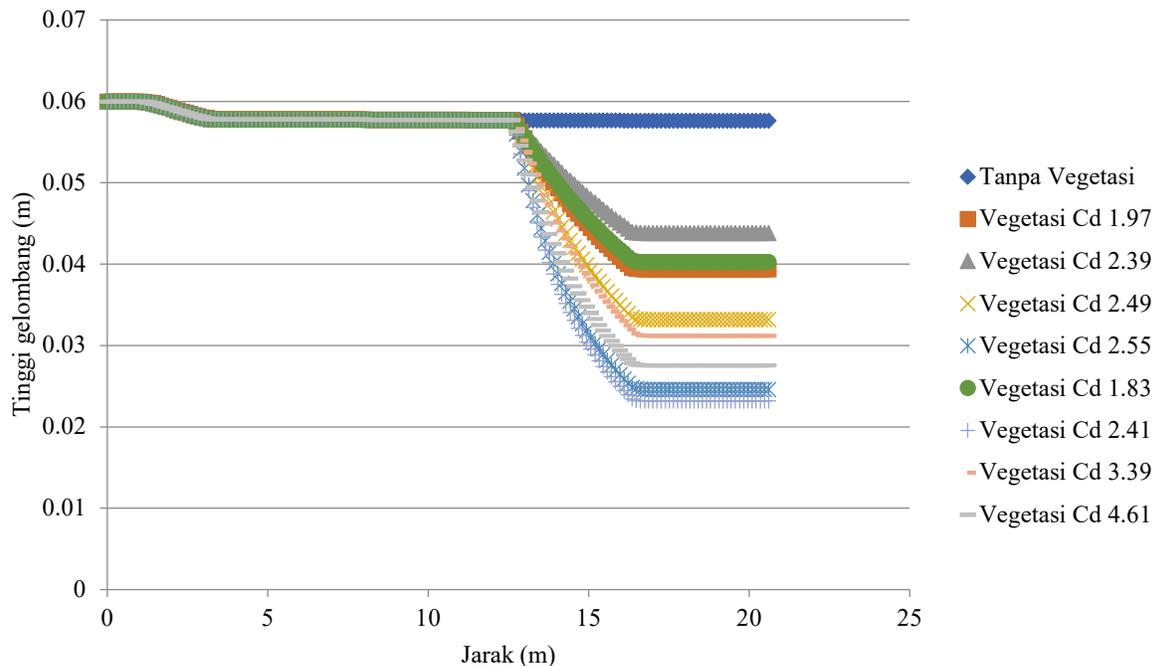
4. Hasil dan Pembahasan

4.1 Hasil Simulasi Model

Simulasi model dilakukan tanpa vegetasi dan dengan vegetasi (8 jenis karakteristik vegetasi).

Berikut ini adalah hasil simulasi penelitian menggunakan program *XBeach* dapat dilihat pada **Gambar 3** dan rekapitulasi hasil simulasi dapat dilihat pada **Tabel 3**.

Dari hasil simulasi antara model laboratorium dan model numerik dapat dilihat bahwa terjadi reduksi tinggi gelombang akibat adanya disipasi numerik oleh program *XBeach* dan terdapat perbedaan grafik antara tanpa vegetasi dan ada vegetasi. Untuk grafik ada vegetasi tersebut terjadi disipasi gelombang. Besar disipasi gelombang tergantung pada karakteristik vegetasi. Dalam penelitian ini disipasi gelombang terkecil terjadi pada rigid model ($N_v = 156/m^2$, $h_v = 0.63$ m, $C_d = 2.39$) sebesar 42% dan disipasi gelombang terbesar terjadi pada simulasi vegetasi ($N_v = 2857/m^2$, $h_v = 1.03$ m, $C_d = 2.41$) sebesar 84% dan rata-rata disipasi gelombang yang terjadi sebesar 66%.



Gambar 3. Grafik Perubahan Tinggi Gelombang dengan $H=0.06m$, $T=1s$, $d=0.5m$ serta 8 karakteristik vegetasi

Dari hasil simulasi tersebut dapat disimpulkan bahwa vegetasi dapat mereduksi tinggi dan energi gelombang dan dengan kondisi karakteristik vegetasi yang berbeda-beda akan menghasilkan besar disipasi gelombang yang berbeda. Semakin besar kepadatan, maka semakin besar pula disipasi gelombangnya.

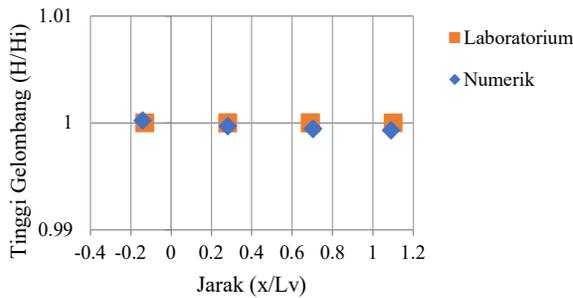
4.2 Hasil Validasi Model dan Uji Keandalan Model

Setelah dilakukan simulasi model numerik, maka selanjutnya adalah melakukan validasi model numerik terhadap model laboratorium. Validasi ini bertujuan untuk mengetahui keakuratan sebuah model. Parameter validasi menggunakan gelombang regular dengan tinggi gelombang 0.06 m, periode gelombang 1 s, dan kedalaman 0,5 m serta 8 karakteristik vegetasi yang dianalisis sepanjang bentang vegetasi yaitu 3.7m.

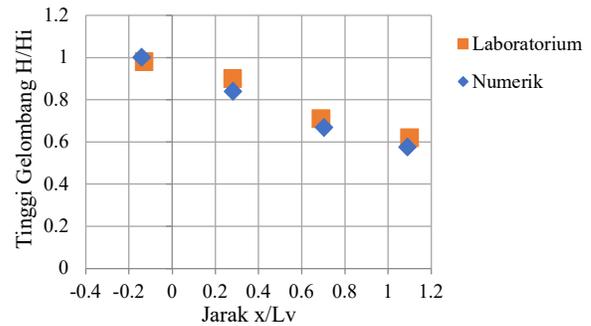
Uji keandalan model menggunakan *Root Mean Square Errors* (RMSE), apabila nilai RMSE mendekati 0 maka model numerik memiliki performa yang baik terhadap model laboratorium. Hasil validasi dapat dilihat pada **Gambar 4** sampai dengan **Gambar 12**.

Tabel 3. Rekapitulasi Perubahan Tinggi dan Energi Gelombang Sebelum Ada Vegetasi dan Setelah Melewati Vegetasi

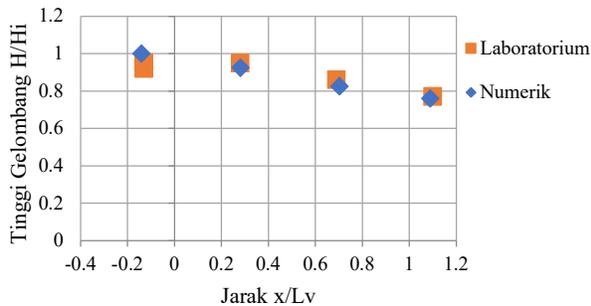
Tipe Vegetasi	Ho (m)	H' (m)	Eo (J/m)	E' (J/m)	Disipasi Energi
	Gel. Datang	Setelah melewati Vegetasi	Tanpa Vegetasi	Setelah melewati Vegetasi	
Vegetasi Cd 1.97	0.058	0.039	0.009	0.004	53%
Vegetasi Cd 2.39	0.058	0.044	0.009	0.005	42%
Vegetasi Cd 2.49	0.058	0.033	0.009	0.003	67%
Vegetasi Cd 2.55	0.058	0.025	0.009	0.002	82%
Vegetasi Cd 1.83	0.058	0.040	0.009	0.004	51%
Vegetasi Cd 2.41	0.058	0.023	0.009	0.001	84%
Vegetasi Cd 3.39	0.058	0.031	0.009	0.003	71%
Vegetasi Cd 4.61	0.058	0.028	0.009	0.002	77%



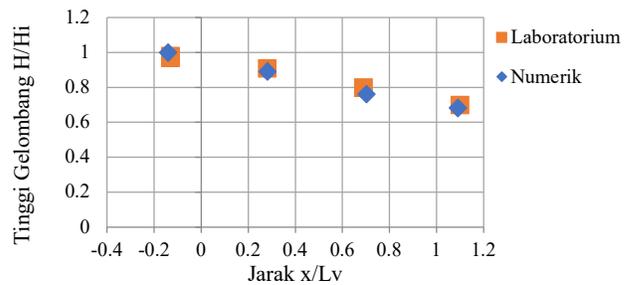
Gambar 4. Perbedaan Grafik Antara Model Laboratorium dan Model Numerik Untuk Simulasi Tanpa Vegetasi dengan hasil uji keandalan RMSE 0.0002



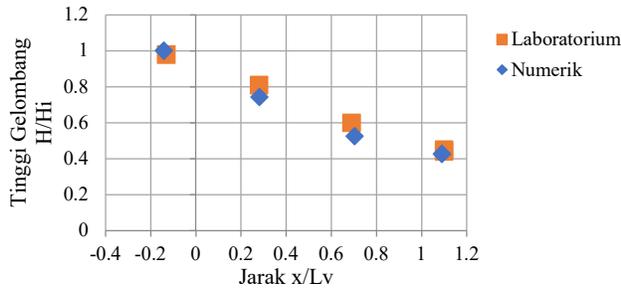
Gambar 6. Perbedaan Grafik Antara Model Laboratorium dan Model Numerik Untuk Simulasi Rigid Model ($N_v=350/m^2$, $h_v = 0.63$ m, $C_d = 2.49$) dengan hasil uji keandalan RMSE 0.022



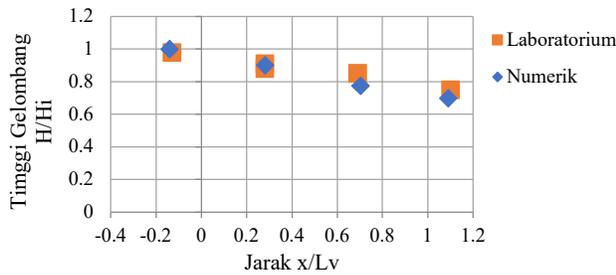
Gambar 5. Perbedaan Grafik Antara Model Laboratorium dan Model Numerik Untuk Simulasi Rigid Model ($N_v=156/m^2$, $h_v = 0.63$ m, $C_d = 2.39$) dengan hasil uji keandalan RMSE 0.017



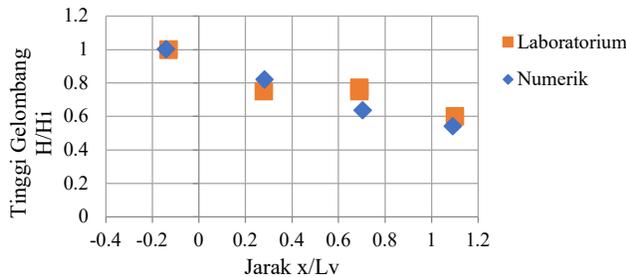
Gambar 7. Perbedaan Grafik Antara Model Laboratorium dan Model Numerik Untuk Simulasi Rigid Model ($N_v=350/m^2$, $h_v = 0.48$ m, $C_d = 1.97$) dengan hasil uji keandalan RMSE 0.025



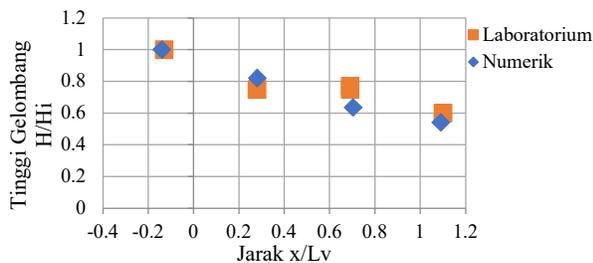
Gambar 8. Perbedaan Grafik Antara Model Laboratorium dan Model Numerik Untuk Simulasi Rigid Model ($N_v=623/m^2$, $h_v = 0.63$ m, $C_d = 2.55$) dengan hasil uji keandalan RMSE 0.026



Gambar 9. Perbedaan Grafik Antara Model Laboratorium dan Model Numerik Untuk Simulasi Fleksibel Model ($N_v=350/m^2$, $h_v = 0.48$ m, $C_d = 1.83$) dengan hasil uji keandalan RMSE 0.024

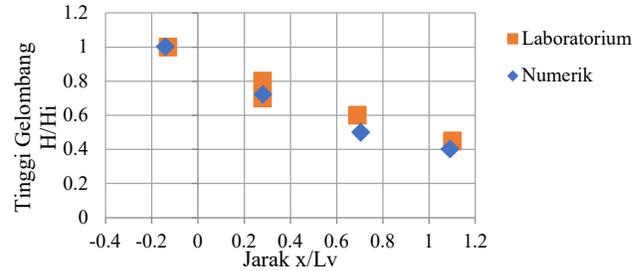


Gambar 10. Perbedaan Grafik Antara Model Laboratorium dan Model Numerik Untuk Simulasi Vegetasi ($N_v=545/m^2$, $h_v = 0.62$ m, $C_d = 3.39$) dengan hasil uji keandalan RMSE 0.040



Gambar 11. Perbedaan Grafik Antara Model Laboratorium dan Model Numerik Untuk Simulasi Vegetasi ($N_v=405/m^2$,

$h_v = 0.59$ m, $C_d = 4.61$) dengan hasil keandalan RMSE 0.027



Gambar 12. Perbedaan Grafik Antara Model Laboratorium dan Model Numerik Untuk Simulasi Vegetasi ($N_v=2857/m^2$, $h_v = 1.03$ m, $C_d = 2.41$) dengan hasil uji keandalan RMSE 0.034

Dari **Gambar 4-12** grafik validasi antara model laboratorium dan numerik dengan menggunakan parameter tinggi gelombang 0.06m, periode gelombang 1 s, kedalaman air 0.5m dan 8 karakteristik vegetasi yang berbeda terlihat adanya perbedaan antara grafik model laboratorium dan model numeric, hal ini dikarenakan adanya disipasi numerik oleh program XBeach dan untuk menunjukkan keakuratan antara model numerik terhadap model laboratorium maka dilakukan uji keandalan menggunakan perhitungan RMSE. Dari grafik-grafik pada **Gambar 4-12** di atas diperoleh nilai RMSE rata-rata 0.024 (mendekati 0) yang berarti bahwa model numerik tersebut memiliki performa yang bagus terhadap penelitian laboratorium sebelumnya.

5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian pemodelan numerik di atas diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Vegetasi mampu melakukan peredaman energi tergantung kepadatan vegetasi. Rata-rata disipasi gelombang yang dihasilkan oleh vegetasi pada penelitian ini sebesar 66% dan disipasi terbesar terjadi pada vegetasi dengan kepadatan 2857/ m².
2. Dari hasil validasi model diperoleh nilai RMSE rata-rata 0.024 dimana nilai RMSE mendekati 0 sehingga model numerik memiliki performa yang baik jika dibandingkan model fisik laboratorium.

Daftar Pustaka

[1] J. Davies and G. F. Claridge, *Wetland benefits: the potential for wetlands to support and maintain development*, no. 333.918 W539we. Asian Wetland Bureau, Kuala Lumpur (Malasia) International

- Waterfowl, 1993.
- [2] Y. Ozeren, D. G. Wren, and W. Wu, "Experimental Investigation of Wave Attenuation through Model and Live Vegetation," *J. Waterw. Port, Coastal, Ocean Eng.*, vol. 140, no. 5, p. 04014019, 2014, doi: 10.1061/(asce)ww.1943-5460.0000251.
- [3] M. Maza, J. L. Lara, I. J. Losada, B. Ondiviela, J. Trinogga, and T. J. Bouma, "Large Scale 3D Experiments of Wave and Current Interaction with Real Vegetation. Part 2: Experimental Analysis." pp. 73–86, 2015.
- [4] Bambang Triatmodjo, *Teknik Pantai*. Yogyakarta, 2012.
- [5] C. E. R. C. CERC, "Shore Protection Manual: Volume I and II," *Spm1984*, vol. 1 & 2, 1984, doi: 10.5962/bhl.title.47830.
- [6] D. Roelvink *et al.*, *Xbeach Manual*. 2015.
- [7] J. A. Roelvink, "Dissipation in random wave groups incident on a beach," *Coast. Eng.*, vol. 19, no. 1–2, pp. 127–150, 1993, doi: 10.1016/0378-3839(93)90021-Y.
- [8] R. J. Lowe, J. L. Falter, J. R. Koseff, S. G. Monismith, and M. J. Atkinson, "Spectral Wave Flow Attenuation within Submerged Canopies: Implications for Wave Energy Dissipation," *J. Geophys. Res. Ocean.*, vol. 112, no. 5, pp. 1–14, 2007, doi: 10.1029/2006JC003605.
- [9] R. A. Dalrymple, J. T. Kirby, and P. A. Hwang, "Wave Diffraction Due to Areas of Energy Dissipation," *J. Waterw. Port, Coastal, Ocean Eng.*, vol. 110, no. 1, pp. 67–79, 1984, doi: 10.1061/(asce)0733-950x(1984)110:1(67).