

Simulasi Redaman Gelombang oleh Hutan Mangrove dengan Menggunakan SGVB

Lukman Hardian¹, Didit Adytia²

^{1,2}Fakultas Informatika, Universitas Telkom, Bandung

¹lukmanhrd@students.telkomuniversity.ac.id, ²adytia@telkomuniversity.ac.id,

Abstrak

Mangrove adalah komunitas tanaman yang hidup diantara laut dan daratan. Selain berfungsi sebagai habitat makhluk hidup, hutan mangrove juga berfungsi untuk meredam gelombang panjang maupun gelombang pendek. Efektivitas redaman gelombang oleh hutan mangrove saat ini masih menjadi perhatian para ahli. Tugas Akhir ini akan menginvestigasi efektivitas dari redaman gelombang regular dan irregular oleh hutan mangrove menggunakan metode numerik. Model yang akan digunakan dalam Tugas Akhir ini adalah model gelombang Staggered Grid Variational Boussinesq. Untuk menginvestigasi efektivitas dari model, akan dilakukan perbandingan antara hasil simulasi dengan hasil eksperimen laboratorium di TU.Braunschweig.

Kata kunci : Mangrove, SGVB

Abstract

Mangrove is a community of plants that live between sea and land. In addition to functioning as a habitat of living things, mangrove forests also serves to reduce long waves and short waves. The effectiveness of waves attenuation by mangrove forests is still the concern of experts. This Final Project will investigate the effectiveness of regular and irregular wave damping by mangrove forests using numerical methods. The model that used in this Final Project is Staggered Grid Variational Boussinesq wave model. To investigate the effectiveness of model, a comparison of the simulation results with the results of laboratory experiments at TU.Braunschweig will be conducted.

Keywords: Mangrove, SGVB

1. Pendahuluan

Kata mangrove merupakan kombinasi antara bahasa Portugis *mangue* dan bahasa Inggris *grove*. Dalam bahasa Inggris kata mangrove digunakan baik untuk komunitas tumbuhan yang tumbuh di daerah jangkauan pasang-surut maupun untuk individu-individu spesies tumbuhan yang menyusun komunitas tersebut. Sedangkan dalam bahasa Portugis kata mangrove digunakan untuk menyatakan individu spesies tumbuhan, dan kata mangal untuk menyatakan komunitas tumbuhan tersebut [1].

Kerapatan pohon dan sistem perakaran mangrove yang berkembang di atas permukaan tanah (*still root, still root, knee root, plunk root, pneumatophore*), khususnya yang membentuk cable root system dapat memproteksi garis pantai (sehingga tidak terjadi abrasi) dari terjangan gelombang arus laut karena adanya penyerapan energi gelombang dan pengurangan kecepatan arus oleh perakaran mangrove tersebut [2].

Berdasarkan pengamatan di lapangan, hutan mangrove terbukti dapat meredam kekuatan energi gelombang pasang. Hutan mangrove dengan kerapatan 5 %, tinggi 5 m dan tebal 50 m dapat meredam 52 % tinggi tsunami, 38 % energi tsunami, juga 14 %, 19 %, dan 22 % jarak run-up tsunami di atas muka air tenang berturut-turut untuk kemiringan pantai 50 , 100 , dan 150 [3]. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh [3], mereka menanam hutan mangrove Kandelia candel berumur 6 tahun yang tumbuh dalam suatu jalur selebar 1,5 km dapat mengurangi tinggi gelombang setinggi 1 m di laut lepas menjadi hanya setinggi 0,05 m di pantai. Hasil penelitian diatas menunjukkan bahwa hutan mangrove sangat efektif dalam meredam gelombang.

Gelombang merupakan bagian yang tidak terlepas dari laut. Ada beberapa jenis gelombang yaitu gelombang yang tidak beraturan atau *irregular waves* dan gelombang yang beraturan atau *regular waves*. Gelombang yang tidak beraturan adalah superposisi dari jumlah gelombang yang beraturan dengan panjang gelombang dan amplitudo yang berbeda [3].

Dari fungsi hutan mangrove yang sudah di jelaskan sebelumnya, dalam Tugas Akhir ini dibuat simulasi peredaman dari dua jenis gelombang yaitu gelombang tidak beraturan dan gelombang beraturan oleh hutan mangrove dengan menggunakan model SGVB (*Staggered Grid Variational Boussinesq*). Perbandingan hasil model SGVB

menunjukkan hasil yang baik dengan solusi analitis, sedangkan *non-dispersive staggered grid shallow water equations* (SWE) tidak bisa mensimulasikan fenomena secara akurat [4].

Masalah yang diangkat pada tugas akhir ini adalah untuk melihat seberapa efisien redaman terhadap gelombang *irregular* dan *regular* oleh hutan mangrove menggunakan model *staggered grid variational boussinesq*. Setelah itu menginvestigasikan seberapa luas hutan mangrove yang dibutuhkan sehingga gelombang tersebut sepenuhnya tereduksi.

Sedangkan untuk batasan masalah yang dilakukan antara lain adalah permasalahan gelombang yang akan dibahas adalah 1D dengan menggunakan model *staggered grid variational boussinesq*. Kasus yang digunakan dalam tugas akhir ini hanya akan dipilih beberapa dari banyak kasus yang ada, selebihnya tentang kasus yang digunakan akan dijelaskan pada bagian selanjutnya.

Dengan mengacu pada perumusan masalah yang sudah diangkat, adapun tujuan dari penulisan tugas akhir ini yaitu memaparkan model *staggered grid variational boussinesq*. Setelah menyelesaikan model yang digunakan kemudian akan dilihat seberapa efisien hutan mangrove dalam meredam gelombang *irregular* dan *regular*. Tak hanya itu, luas mangrove yang dibutuhkan sehingga redaman gelombang sehingga sepenuhnya tereduksi juga diperlukan sebagai tujuan dari tugas akhir ini.

2. Studi Terkait

Model VB (*Variational Boussinesq*) yang digunakan yaitu 1D yang dijelaskan pada [5]. Model VB diturunkan berdasar formulasi variational yang diajukan oleh Luke pada tahun 1967 [6]. Dengan mengasumsikan air sebagai *fluid* yang ideal dan aliran diasumsikan menjadi tidak rasional atau *irrational*, dinamika gelombang dapat dideskripsikan dengan sistem Hamiltonian [4]. Hamiltonian adalah energy total, yaitu jumlah dari energi potensial dan kinetic [4]. Dijelaskan pada [1], model 1D VB dideskripsikan dengan dua persamaan dinamik sebagai berikut,

$$\partial_t \eta = -\partial_x((h + \eta)\partial_x \phi) - \partial_x(\beta \partial_x \psi) \quad (1)$$

$$\partial_t \phi = -g\eta - (\partial_x \phi)^2/2 \quad (2)$$

dengan tambahan persamaan *elliptic*.

$$-\partial_x(\alpha \partial_x \psi) + \gamma \psi = \partial_x(\beta \partial_x \phi) \quad (3)$$

Dimana $-\eta(x,t)$ dan $\phi(x,t)$ adalah variabel *canonical* dari sistem Hamiltonian, yaitu *surface elevation* dan *surface potential*. Sedangkan $h(x)$ adalah kedalaman air dan $g = 9.81m/s^2$ adalah percepatan gravitasi. Variabel $\psi(x)$ adalah variabel tambahan yang digunakan dalam pendekatan model VB, yang harus dihitung dalam setiap langkah waktu dengan menyelesaikan persamaan (3). Sedangkan ∂ , β dan γ adalah koefisien VB yaitu

$$\alpha = \frac{2}{15} H^3; \beta = \frac{H^2}{3}; \gamma = \frac{H}{3} \quad (4)$$

dimana $H = h + \eta$ adalah kedalaman total.

Dengan catatan model VB (1)-(3) ditulis dalam variabel *canonical* $\eta(x,t)$ dan $\phi(x,t)$. Biasanya model VB dikenal sebagai model *non-hydrostatic* yang ditulis dengan notasi $\eta(x,t)$ dan $u(x,t)$, dimana $u(x,t)$ kecepatan horizontal [4]. Sebagaimana dijelaskan dalam [5], model VB bisa ditulis dalam kecepatan permukaan horizontal dengan $u(x,t)$ dengan syarat bahwa $u = \phi(x,t)$. Peredaman gelombang oleh hutan mangrove dapat dimodelkan dengan penambahan koefisien kekasaran *manning* pada permukaan *bottom*. Kemudian model VB yaitu persamaan (1)-(3) dapat ditulis dengan persamaan-persamaan berikut.

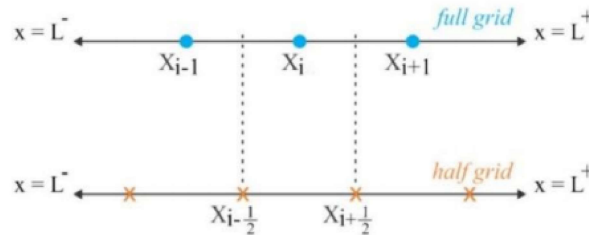
$$\partial_t \eta = -\partial_x(Hu) - \partial(\beta \partial_x \psi) \quad (5)$$

$$\partial_t u = -g(\partial_x \eta) - u \partial_x u \quad (6)$$

$$-\partial_x(\alpha \partial_x \psi) + \gamma \psi = \partial_x(\beta u) - C_f \frac{|u|u}{H} \quad (7)$$

Persamaan (5) dan (7) adalah (SWE) *Shallow Water Equations* dengan tambahan persamaan kontinuitas yaitu $-\partial(\beta \partial_x \psi)$, dan persamaan (6) adalah persamaan tambahan untuk mencari ψ disetiap langkah waktu. Kemudian akan dideskripsikan *staggered grid* pada [7] untuk mengimplementasikan secara numerik persamaan (4)-(6).

Untuk mendesain gelombang yang akurat dan efisien, dibutuhkan metode numerik yang stabil, mudah dan efisien [8]. Pada Tugas Akhir ini persamaan(4)-(6) diimplementasikan secara numerik dengan skema *staggered grid* pada [7]. Kemudian, η dan ψ dihitung pada titik grid penuh dengan notasi $x_i, i = 1, 2, \dots, N$ dan u dihitung pada titik setengah grid $x_{i+1/2}, i = 1, 2, \dots, N + 1$ seperti yang diilustrasikan pada Gambar 1. Sama halnya dengan η , kedalaman air h dan total kedalaman air H juga dihitung pada titik grid penuh.



Gambar 1. ilustrasi dari skema *staggered grid* [4].

Diskritisasi pada skema *staggerd grid* yang dilakukan Stelling dan Duinmeijer pada [7], turunan spasial didekati oleh *second order central difference* dan *first order skema upwind*. Sehingga persamaan (5) dari model VB menjadi

$$\frac{\eta_i^{n+1} - \eta_i^n}{\Delta t} = - \left(\frac{{}^*H_{i+\frac{1}{2}}^n u_{i+\frac{1}{2}}^n - {}^*H_{i-\frac{1}{2}}^n u_{i-\frac{1}{2}}^n}{\Delta x} \right) - \left(\frac{{}^*\beta_{i+\frac{1}{2}}^n (\psi_{i+1}^n - \psi_i^n) - {}^*\beta_{i-\frac{1}{2}}^n (\psi_i^n - \psi_{i-1}^n)}{(\Delta x)^2} \right) - C_f \frac{|u_{i+\frac{1}{2}}^n| u_{i+\frac{1}{2}}^{n+1}}{\bar{H}_{i+\frac{1}{2}}^n}. \quad (8)$$

Dimana $\eta(x_i, t_n)$ dinotasikan dengan η_i^n dan $u(x_{i+\frac{1}{2}}, t_n)$ dinotasikan dengan $u_{i+\frac{1}{2}}^n$. Begitu juga untuk variabel lainnya yaitu H, u, β dan ψ . Panjang dari grid spasial dinotasikan dengan Δx dan panjang dari diskritisasi waktu dinotasikan dengan Δt . Pada persamaan (8), nilai dari *H pada $(i + \frac{1}{2})$ dan $(i - \frac{1}{2})$ tidak didefinisikan, istilah ini ditunjukkan oleh *superscript**. Berdasarkan [7], nilai dari *H dengan menggunakan *first order* metode *upwind* yaitu

$${}^*H_{i+\frac{1}{2}}^n \begin{cases} H_i^n & , u_{i+\frac{1}{2}}^n \geq 0 \\ H_{i+1}^n & , \text{lainnya} \end{cases} \quad (9)$$

Persamaan (9) mengatakan bahwa ketika aliran kekanan atau $u_{i+\frac{1}{2}}^n \geq 0$, maka nilai ${}^*H_{i+\frac{1}{2}}^n$ bisa didapat dari H_i^n . Sebaliknya, apabila aliran ke kiri atau $u_{i+\frac{1}{2}}^n < 0$ maka nilai ${}^*H_{i+\frac{1}{2}}^n$ bisa didapat dari H_{i+1}^n . Karena koefisien α, β , dan γ adalah fungsi dari H , maka persamaan (9) bisa digunakan untuk menghitung nilai ${}^*\alpha, {}^*\beta$, dan ${}^*\gamma$.

Berdasarkan [14], persamaan momentum (6) dari model VB dapat dihipotesis dengan persamaan berikut,

$$\frac{u_{i+\frac{1}{2}}^{n+1} - u_{i+\frac{1}{2}}^n}{\Delta t} = -g \left(\frac{\eta_{i+1}^n - \eta_i^n}{\Delta x} \right) - (u \partial_x u)_{i+\frac{1}{2}}^n \quad (10)$$

dengan nilai $u \partial_x u$ dapat dihitung dengan persamaan berikut.

$$u \partial_x u = -\frac{1}{h} \left(\frac{\partial(qu)}{\partial x} - u \frac{\partial q}{\partial x} \right) \quad (11)$$

dimana $q = hu$ adalah momentum horizontal. berdasarkan [7] persamaan (11) dapat ditulis menjadi

$$(u \partial_x u)_{i+1} = -\frac{1}{\bar{H}_{i+\frac{1}{2}}} \left(\frac{\bar{q}_{i+1}^* u_{i+1} - \bar{q}_i^* u_i}{\Delta x} - u_{i+\frac{1}{2}} \frac{\bar{q}_{i+1} - \bar{q}_i}{\Delta x} \right) \quad (12)$$

$$\bar{H}_{i+\frac{1}{2}} = \frac{1}{2} (H_i + H_{i+1}); \bar{q}_i = \frac{1}{2} (q_{i+\frac{1}{2}} + q_{i-\frac{1}{2}}); \bar{q}_{i+\frac{1}{2}} = {}^*H_{i+\frac{1}{2}} + u_{i-\frac{1}{2}} \quad (13)$$

Sama seperti *H pada persamaan (8), *u dihitung dengan metode *upwind* sebagai berikut.

$${}^*u_i^n \begin{cases} u_{i-\frac{1}{2}}^n & , \bar{q}_i^n \geq 0 \\ H_{i+\frac{1}{2}}^n & , \text{lainnya} \end{cases} \quad (14)$$

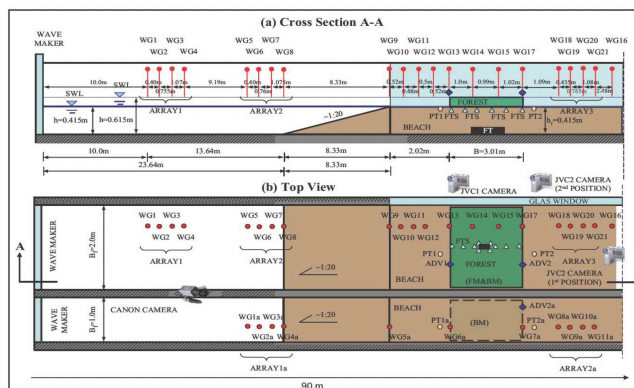
Kemudian persamaan (7), yaitu persamaan *elliptic* untuk menyelesaikan ψ di setiap langkah waktu dengan menggunakan persamaan berikut.

$$\frac{\alpha_{i+\frac{1}{2}}^* (\psi_{i+1} - \psi_i) - \alpha_{i-\frac{1}{2}}^* (\psi_i - \psi_{i-1})}{(\Delta x)^2} + \gamma_i \psi_i = \frac{\beta_{i+\frac{1}{2}}^* u_{i+\frac{1}{2}}^n - \beta_{i-\frac{1}{2}}^* u_{i-\frac{1}{2}}^n}{\Delta x} \tag{15}$$

Dengan catatan pada persamaan (15), mengarah ke sistem matriks linear yang harus dipecahkan di setiap langkah waktu untuk mendapat nilai ψ sebagai nilai yang diberikan pada u . Sistem matriks yang dihasilkan adalah sistem matriks tridiagonal yang bisa diselesaikan menggunakan algoritma Thomas [4].

3. Eksperimen Laboratorium TU.Braunsweig

Eksperimen dilaboratorium sebelumnya sudah dijelaskan di [8] untuk menginvestigasi efektivitas redaman energi gelombang *tsunami* [9]. Secara fisik, berdasarkan parameter pohon mangrove yang kompleks sudah selesai untuk menurunkan parameter resistensi hidrolik dari hutan mangrove [9]. Prosedur parameterisasi yang diusulkan didasarkan pada asumsi struktur yang kaku dimana hanya akar dan batang yang diperhitungkan [9].



Gambar 2. Eksperimen *set up* dari *twin wave flume* di Leichtweiss Institute (LWI) dengan lebar mangrove 3m untuk lebar flume 2m [11].

Eksperimen pada [8] dilakukan secara bersamaan pada masing-masing *flumes*. Untuk *flumes* sendiri memiliki panjang yang sama yaitu 90m dengan lebar yang berbeda, yang pertama 2m flume dengan lebar hutan mangrove 3m dan 1m flume dengan lebar mangrove 0m atau tanpa mangrove. Kemudian *stopping bottom* diletakkan pada posisi 23.64m dan berakhir di 31.97m.

Husrin dkk [8] melakukan cukup banyak percobaan fisik dengan berbagai gelombang, seperti *solitary waves*, *regular* dan *irregular waves* serta *bore*, berbagai lebar hutan mangrove dan kedalaman air yang bervariasi. Pada Tugas Akhir ini hanya akan menginvestigasi *irregular waves* dan *regular waves* sepanjang *flumes*.

4. Evaluasi

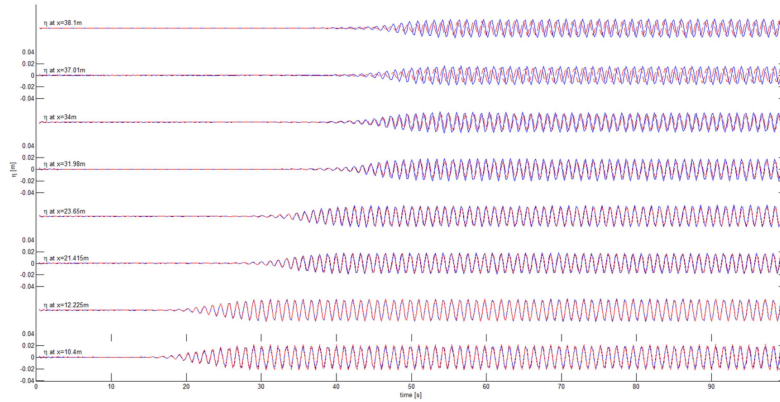
4.1 Hasil Pengujian

Sebagaimana yang telah dijelaskan sebelumnya, dalam Tugas Akhir ini hanya akan menginvestigasi beberapa dari banyaknya eksperimen yang sudah dilakukan. Untuk nama beserta detail eksperimen yang digunakan akan ditampilkan dalam tabel berikut.

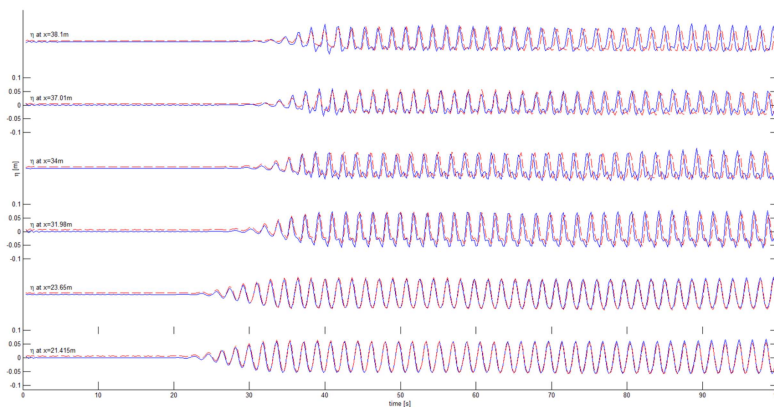
Tabel 1. Detail data eksperimen yang digunakan

Nama	Tipe Gelombang	Kedalaman Air	Ketinggian Gelombang	Periode Gelombang	Lebar Mangrove
2009051205	Regular	0.615	0.04	1.1	0.75m
2009051213	Regular	0.615	0.12	1.8	0m
2009051414	Irregular	0.615	0.12	1.8	0.75m

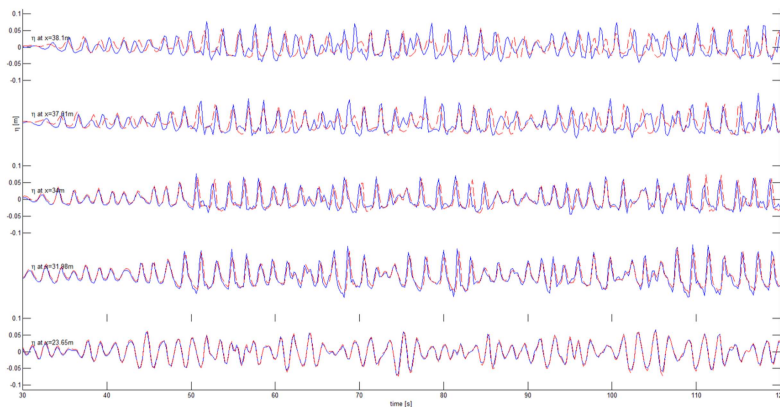
Kemudian dari data diatas akan digunakan sinyal *influx* dari pengukuran di WG1(diposisi $x = 10m$) untuk data dengan lebar mangrove 0.75m sedangkan untuk lebar mangrove 0m akan digunakan sinyal di WG1a(diposisi $x = 21.415m$) sebagai sinyal *influx* untuk memodelkan gelombang. Untuk melihat efisiensi dari model, akan dibandingkan hasil dari simulasi dengan data eksperimen disetiap sinyal pengukuran seperti pada gambar (2). Berikut adalah hasil perbandingan antara data eksperimen pada tabel1 dan hasil simulasi.



Gambar 3. Perbandingan hasil simulasi dengan eksperimen untuk data 2009051205.



Gambar 4. Perbandingan hasil simulasi dengan eksperimen untuk data 2009051213.

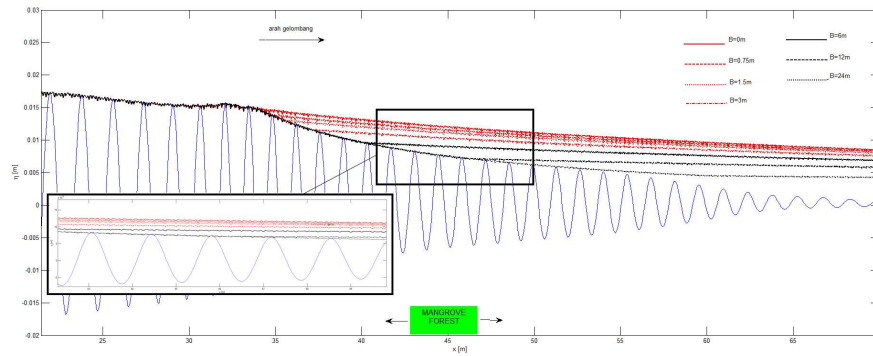


Gambar 5. Perbandingan hasil simulasi dengan eksperimen untuk data 2009051414.

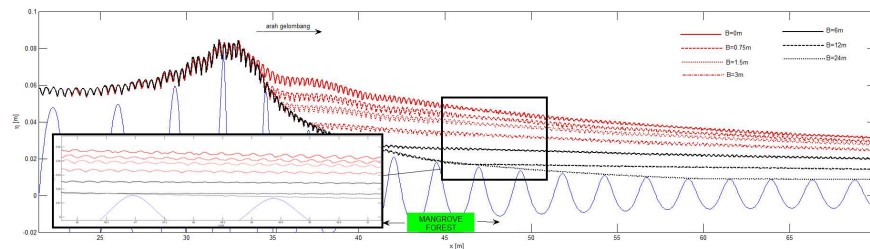
Hasil perbandingan pada gambar 3,4 dan 5, x menunjukkan posisi dimana sinyal *influx* diambil. Sedangkan

garis biru menunjukkan sinyal *influx* dari eksperimen dan garis hitam menunjukkan sinyal *influx* hasil simulasi. Sumbu x merupakan selang waktu dan sumbu y adalah ketinggian gelombang pada titik tersebut.

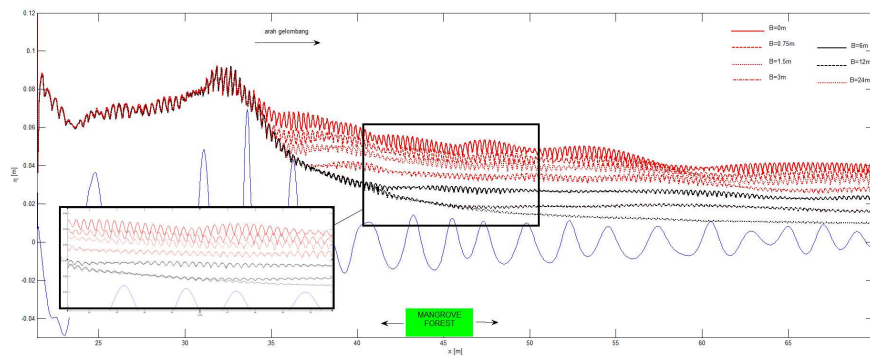
Setelah membandingkan hasil eksperimen dan hasil simulasi, akan dilakukan simulasi dengan lebar hutan mangrove yang berbeda. Kemudian dari hasil simulasi tersebut akan dibandingkan *maximum temporal amplitude* atau ketinggian air maksimum selama waktu simulasi masing-masing luas hutan mangrove. Luas mangrove yang akan digunakan yaitu $B = 0m$, $B = 1.5m$, $B = 3m$, $B = 6m$, $B = 12m$ dan $B = 24m$. Berikut adalah hasil dari simulasi dengan perbandingan luas mangrove yang berbeda.



Gambar 6. Hasil perbandingan maksimum temporal amplitude data 2009051205.



Gambar 7. Hasil perbandingan maksimum temporal amplitude data 2009051213.



Gambar 8. Hasil perbandingan maksimum temporal amplitude data 2009051414.

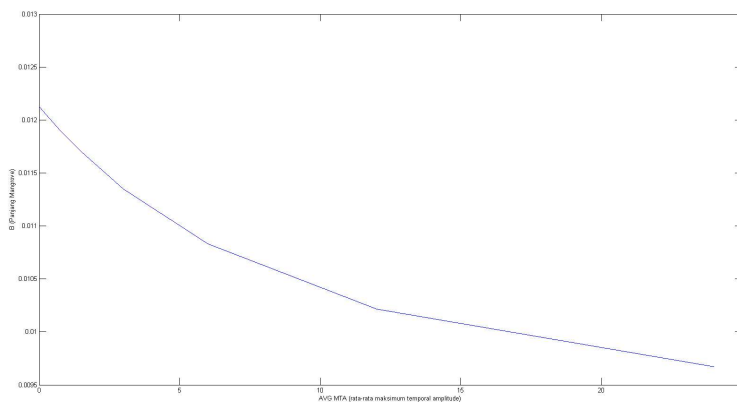
Pada gambar (6)-(8) garis hitam dan merah menunjukkan maksimum temporal amplitude yang didapatkan dari hasil simulasi dengan luas mangrove yang berbeda seperti pada penjelasan sebelumnya. Kemudian sumbu x menunjukkan panjang flume dan sumbu y adalah ketinggian gelombang atau η maksimum pada setiap titik x . Gambar (6)-(8) merupakan gambar yang diambil pada saat gelombang melawati hutan mangrove dan gambar yang didalam kotak diambil pada saat terjadi perbedaan ketinggian gelombang.

4.2 Analisis Hasil Pengujian

Berdasarkan hasil pengujian yang sudah dilakukan, pada gambar (3)-(5) menunjukkan bahwa adanya perbedaan antara hasil simulasi dengan eksperimen yang ditunjukkan oleh garis biru dan hitam. Perbedaan antara kedua garis tersebut adalah error pada model SGVB.

Gambar (5) pada pengukuran diposisi $x = 38.1$ (titik akhir hutan mangrove) dan $x = 37.01$ (titik awal hutan mangrove) memperlihatkan perbedaan yang sangat signifikan antara hasil simulasi dengan eksperimen dibandingkan posisi lainnya. Hal tersebut disebabkan oleh penambahan koefisien kekasaran manning pada persamaan (6) yang membuat error dari model semakin besar karena pada titik tersebut terdapat mangrove.

Pada gambar (6)-(8) apabila panjang dari hutan mangrove ditambah, gelombang yang melewati hutan mangrove semakin mengecil atau bisa disebut terjadinya redaman ketika gelombang melewati hutan mangrove. Berikut adalah grafik penurunan gelombang atau redaman dengan luas mangrove yang berbeda.



Gambar 9. Grafik penurunan rata-rata maksimum ketinggian gelombang dengan panjang mangrove berbeda untuk data 2009051205.

Sumbu x pada gambar (9) menyatakan panjang dari hutan mangrove dan sumbu y adalah rata-rata dari ketinggian maksimum gelombang dari hasil simulasi untuk data 2009051205. Dari gambar (9) rata-rata maksimum ketinggian gelombang semakin menurun apabila panjang dari hutan mangrove semakin besar.

5. Kesimpulan

Untuk memodelkan redaman gelombang oleh hutan mangrove yaitu dengan menambahkan koefisien kekasaran manning sebagai parameter mangrove. Semakin luas hutan mangrove yang digunakan maka akan semakin rendah maksimum ketinggian gelombang yang melewatinya. Untuk panjang hutan mangrove sebesar $B = 0.75m$, $B = 1.5m$, $B = 3m$, $B = 6m$, $B = 12m$, dan $B = 24m$ masing - masing terjadi penurunan gelombang sebesar $0.000223m$, $0.000422m$, $0.000777m$, $0.0013m$, $0.0019m$ dan $0.0025m$. Dengan kata lain, hutan mangrove sangat efektif dalam meredam gelombang *regular* maupun *irregular*.

Referensi

- [1] Macnae, W. 1968. A General Account of The Fauna and Flora of Mangrove Swamps and Forests in The Indowest-Pacific Region. *Adv. Mar. Biol.* 6: 73 - 270.
- [2] Mazda, Y., M. Magi, M. Kogo and P.Ng. Hong. 1997. Mangrove as A Coastal Protection from Waves in The Tong King Delta, Vietnam. *Mangroves and Salt Marshes* 1:127-135.
- [3] Diposaptono, S. dan Budiman. 2008. *Hidup Akrab dengan Gempa dan Tsunami*. PT. Sarana Komunikasi Utama. Bogor.
- [4] D. Adytia, D. Tarwidi , S. A. Kifli and S. R. Pudjaprasetya. 2018. Staggered grid implementation of 1D Boussinesq model for simulating dispersive wave. Bandung.
- [5] Klopman G van Groesen E and Dingemans M 2010 *J. Fluid Mech.* 65 36–63
- [6] Luke J 1967 *J. Fluid. Mech.* 27 395–397
- [7] Stelling G S and Duinmeijer S P A 2003 *Int. J. Numer. Methods Fluids A* 43 1329–1354
- [8] Husrin, S., Strusinska, A, & Oumeraci H., 2012. Experimental study on tsunami attenuation by mangrove forest. *Earth Planets Space*, 64, 973–989.
- [9] Adytia, D., & Husrin, S., 2015. Numerical simulations of nonbreaking solitary wave attenuation by a parameterized mangrove forest model.
- [10] tarwidi, d., & adytia, d. (2018). Parallelization of elliptic solver for solving 1D Boussinesq model. *Journal of Physics: Conference Series*, 10.