



ISSN 2338-0322

JURNAL TEKNIK PERKAPALAN

Jurnal Hasil Karya Ilmiah Lulusan S1 Teknik Perkapalan Universitas Diponegoro

Analisa Pengaruh Parameter Jarak Partikel, Angka CFL, dan Koefisien Artificial Viscosity Terhadap Akurasi Pemodelan Gelombang dengan SPH

Ilham Abror^{1)*}, Andi Trimulyono¹⁾, Hartono Yudo²⁾

¹⁾Laboratorium Hidrodinamika

Departemen Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Jl. Prof. Soedarto, SH, Kampus Undip Tembalang, Semarang, Indonesia 50275

*^{e-mail} : ilhamabror@student.undip.ac.id, andi.trimulyono@undip.ac.id, hartonoyudo@yahoo.com,

Abstrak

Dinamika fluida komputasi telah banyak digunakan dalam proses pembuatan kapal. Banyak metode untuk menganalisis fluida secara komputasi. Salah satunya dengan menggunakan metode SPH yang kerap digunakan dalam dunia kemaritiman untuk menganalisa tentang fluida. Dalam SPH medium tangki yang digunakan biasanya berukuran medium dengan jumlah gelombang 3 – 4 meter, untuk tangki gelombang dengan gelombang lebih dari 4-meter maka tidak cocok menggunakan parameter default dari DualSPHysics. Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan parameter yang cocok untuk long distance propagation dengan menggunakan varian variabel pada parameter dp , koefisien viscosity dan CFL number. Untuk nilai dp yang cocok digunakan adalah rentang 3-6mm, CFL dengan rentang nilai 0.2 dan koefisien artificial viscosity 0.001. Sehingga dapat disimpulkan bahwa nilai dp berpengaruh pada beda fase gelombang, koefisien artificial viscosity berpengaruh pada amplitudo gelombang sedangkan CFL berpengaruh pada time step ketika pengolahan data.

Kata Kunci : SPH, Gelombang, Long distance propagation, Parametris Study

NOMENCLATURE

F	Force	t	Time
P	Pressure	δ_{ϕ}	Delta-SPH
r	Position vector	ρ	Density
m	Mass	v	Velocity
Coefh	Coefficient of Smoothing length	w	interpolation kernel
α	Coefficient of artificial viscosity	γ	Coefficient of polytropic material
CFL	Coefficient of Courant–Friedrichs–Lewy	Dp	Particle distance
C_s	Coefficient of speed of sound		

1. PENDAHULUAN

Dinamika fluida komputasi telah banyak digunakan dalam proses pembuatan kapal. Banyak metode untuk menganalisis fluida secara komputasi. Salah satunya dengan menggunakan metode numerik yang kerap digunakan dalam dunia kemaritiman untuk menganalisa tentang fluida. Pada penelitian ini akan membahas tentang studi pengaruh parameter *Smoothed Particle Hydrodynamics* (SPH) untuk gelombang permukaan untuk mengetahui pengaruh parameter terhadap elevasi gelombang permukaan.

Smoothed Particle Hydrodynamics (SPH)

pertama kali digunakan untuk menganalisa fenomena *nonaxisymmetric* di astrofisika [1] [2]. Metode *Smoothed Particle Hydrodynamics* (SPH) tergolong pada metode baru yang tidak melalui proses *mesh*, sehingga tidak diperlukan grid khusus untuk pemodelannya. Metode ini menggunakan definisi jarak partikel untuk melakukan proses numerik sehingga dapat menghemat waktu daripada menggunakan metode *mesh*.

Metode SPH biasa digunakan untuk menganalisa *sloshing*, *breaking wave* di pantai, juga dapat digunakan untuk memperkirakan *impact force* pada *coastal structure*[3]. Dalam perhitungannya, SPH menggunakan metode Lagrangian dengan skema interpolasi untuk

menentukan nilai fisik dan turunan bidang yang kontinu dengan menggunakan titik diskrit[4]. Titik evaluasi didapatkan dengan partikel tetangga yang terdapat massa, kecepatan dan posisi. Saat mensimulasikan aliran permukaan bebas, sifat alamiah dari Lagrangian memungkinkan domain untuk berhubungan tanpa banyak perlakuan khusus pada permukaan air (*free surface*), teknik ini ideal untuk mempelajari gerakan permukaan bebas.

SPH telah digunakan untuk berbagai masalah aliran permukaan bebas (*free surface*), gelombang lepas pantai, benturan pada struktur dan kerusakan bendungan merupakan peneliti yang mengembangkan SPH untuk kasus permukaan bebas seperti gelombang permukaan, gelombang soliter, gelombang pecah pada pantai[3][5]. Dibidang teknik pantai, menggunakan SPH untuk mempelajari interaksi pemecah gelombang dan menggunakan metode SPH untuk meneliti tekanan akibat *sloshing* gelombang. SPH juga dapat digunakan untuk bidang lainnya seperti memodelkan aliran pada turbin Pelton [6]. Teori untuk pembangkit gelombang dimulai dari teori linier untuk gelombang monokromatik kemudian perluasan Stokes orde dua yang dikembangkan oleh. Metode SPH juga dapat digunakan untuk memprediksi *impact force* pada *coastal structure* [7]

Dalam studi ini menggunakan *opensource* SPH solver DualSPHysics. DualSPHysics menggunakan kondisi batas (*boundary*) didefinisikan menggunakan metode diskrit dimana sekumpulan partikel memiliki properties yang sama dengan partikel fluida namun tidak bergerak kecuali diberikan gaya. Dengan menggunakan kondisi batas ini, ketika partikel fluida mendekati *boundary* dan jarak di antara mereka menurun di luar nilai kernel, jarak partikel dapat meningkat sehingga menyebabkan tekanan meningkat. Hal ini dapat menghasilkan gaya tolak yang diberikan pada partikel fluida[8].

Pada parameter default yang digunakan DualSPHysics hanya tertera untuk gelombang pendek (2-3 gelombang) sehingga tidak dapat digunakan untuk gelombang yang panjang (lebih dari 3 gelombang). Untuk parameter default untuk tangki yang umum hanya menggunakan satu variabel peubah.

Dengan H adalah panjang gelombang. Pada penelitian sebelumnya dilakukan dengan hanya menggunakan satu variabel peubah untuk melakukan keseluruhan eksperimen. Pada penelitian kali ini akan dilakukan analisis beberapa variabel peubah seperti dp, CFL, dan koefisien *artificial viscosity* untuk mendapatkan variabel yang berpengaruh signifikan terhadap eksperimen.

Untuk tujuan penelitian dari penelitian ini adalah untuk menganalisis pengaruh parameter SPH untuk-gelombang permukaan dan mendapatkan parameter yang optimal untuk kasus gelombang tipe piston.

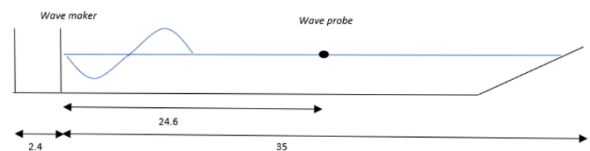
Hasil penelitian ini dapat dijadikan untuk referensi pemakaian SPH untuk kasus gelombang

permukaan dengan tipe piston.

2. METODE

2.1. Objek Penelitian

Penelitian ini menggunakan pembangkit gelombang tipe piston dengan panjang kolam 35m. Untuk dimensi kolam ditampilkan dengan gambar



Gambar 1. Desain kolam

2.2. Pemodelan serta Variasi

Pembuatan model kolam berdasarkan data eksperimen [9]. Kedalaman air 0.4 m dengan jarak *wave prob* 24.6 m dari *wave maker*. Parametris yang akan dirubah untuk penelitian ini adalah dp dan koefisien Artificial viscosity

Tabel 1. Variasi Variabel

Nama	Ukuran
Jarak Awal	H/10, H/15, H/20/, H/25, H/30
Koefisien Artificial Viscosity	0.1, 0.01
CFLnumber	0.15, 0.25

Penelitian ini menggunakan beberapa variabel diatas. Untuk dp menggunakan data variabel dengan H adalah panjang gelombang yang akan dibagi oleh konstanta. Koefisien artificial viscosity menggunakan nilai 0.1 dan 0.01 agar mendapat variabel yang efisien dan tepat. CFL number akan dicoba variabel 0.15 dan 0.25.

2.3. Lokasi Penelitian

Penelitian dilakukan di Laboratorium Hidrodinamika, Teknik Perkapalan, Universitas Diponegoro.

2.4. Simulasi Model

Simulasi untuk penelitian ini menggunakan SPH (*Smoothed Particle Hydrodynamics*) dengan perangkat lunak DualSPHysics. DualSPHysics adalah sebuah software yang memodelkan SPH yang menggunakan bahasa pemrograman C++ dan CUDA. Prinsip dasar rumusan SPH adalah representasi integral dari rumus f, yang menggantikan variabel numerik atau fisik yang ditentukan pada domain minat Ω pada titik x.

$$f(x) \approx \int_{\Omega} f(r') W(r-r', h) dr', \quad (1)$$

dimana h adalah *smoothing length*, parameter ukuran yang mendukung domain kernel dan W adalah *weighting* atau fungsi kernel. Dengan persamaan nomer

satu didapatkan bentuk diskrit dari mengganti integral dengan penjumlahan partikel di sampingnya. Sehingga pendekatan partikel menjadi persamaan:

$$f(r_a) \approx \sum_b f(r_b) W(r_a - r_b, h) \frac{m_b}{\rho_b} \quad (2)$$

Dimana volume yang dikumpulkan dengan partikel b adalah m_b/ρ_b , m adalah massa dan ρ adalah densitas. Dalam penelitian ini menggunakan kernel Wendland dengan persamaan: $W_{ab} = W(r_a - r_b, h)$ merupakan nilai kernel. Maka dari itu, turunan dari interpolasi ini didapatkan sebuah persamaan :

$$\nabla f_a(r_a) = \sum_b m_b \frac{A_b}{\rho_b} \nabla W_{ab} \quad (3)$$

Bentuk Lagrangian dari persamaan Navier-Stokes sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \frac{D\rho}{Dt} &= -\rho \nabla v, \\ \frac{Dv}{Dt} &= -\frac{1}{\rho} \nabla P + g + \tau \\ \frac{D\tau}{Dt} &= v \end{aligned} \quad (4)$$

Dimana D/Dt merupakan turunan material, ρ adalah massa jenis, P adalah tekanan, v kecepatan, g percepatan gravitasi, dan τ adalah difusi. Kemampuan model SPH tergantung pada pilihan dari fungsi kernel. Kernel merupakan persamaan yang penting dalam penyelesaian SPH.

2.4.1. Lattice

Lattice merupakan fungsi untuk membuat partikel dari jarak yang telah ditentukan. Apabila dipilih 1 maka setiap satu jarak partikel dibuat 1 partikel

2.4.2. Gamma

Gamma merupakan parameter untuk mengatur nilai γ yang merupakan definisi dari *speed of sound* pada setiap perbedaan densitas dan konstanta politropik. Pada penelitian ini menggunakan parameter *gamma* dengan nilai 7 sesuai dengan penelitian sebelumnya [10]. Pengaruh nilai *gamma* dalam DualSPHysics berupa perhitungan tekanan yang didasari oleh sifat *weakly compressible smoothed particle hydrodynamics* (WCSPH) dengan turuna sebagai berikut:

$$P = |\mathbf{b}| \left[\left(\frac{\rho}{\rho_0} \right)^\gamma - 1 \right] \quad (5)$$

2.4.3. coefsound

Coefsound adalah koefisien yang digunakan untuk menghitung kecepatan suara pada SPH

. Berikut persamaan untuk mencari *speedsoud*

$$C_s = \text{coefsound} \cdot \sqrt{g \cdot hswl} \quad (6)$$

2.4.5. Coefh

Coefh adalah koefisien untuk smoothing length, konstanta ini digunakan untuk menghitung banyaknya partikel dalam satu kernel

$$h = \text{coefh} \cdot \sqrt{2} \cdot dp \quad (7)$$

Pengaruh *smoothing length* yaitu untuk

pergerakan partikel, semakin besar nilai h maka semakin membatasi partikel untuk berinteraksi satu sama lain, begitu juga jika semakin kecil nilai h maka akan menghasilkan nilai yang lebih akurat. Jarak yang semakin dekat antar partikel dapat membuat waktu komputasi semakin lama, maka dari itu dibutuhkan nilai *coefh* yang optimal akar dapat hasil yang akurat dan cepat dalam hal komputasi.

2.4.6. CFL number

CFL adalah koefisien untuk memenuhi asas kondisi Courant–Friedrichs–Lewy, dimana konstanta ini mempengaruhi time-step.

$$\Delta t_f = CFL \cdot (\Delta t_f, \Delta t_{cv}) \quad (8)$$

2.4.7. Hswl

Hswl adalah fungsi untuk menentukan kondisi tinggi air pada DualSPHysics, bila dipilih 0 maka ketinggian air otomatis di tentukan berdasarkan jarak partikel. Bila di pilih 1 maka kita bisa menentukan sesuai kedalaman sesuai keinginan kita

2.5. Alat dan Bahan

Alat yang digunakan pada penelitian ini adalah menggunakan komputer dengan spesifikasi sebagai berikut :

- OS : Windows 10 64-Bit
- Processor : Intel Core i5 7th Gen
- RAM : 12 GB
- VGA = RTX 2080Ti

Dengan *software* yang digunakan adalah DualSPHysics

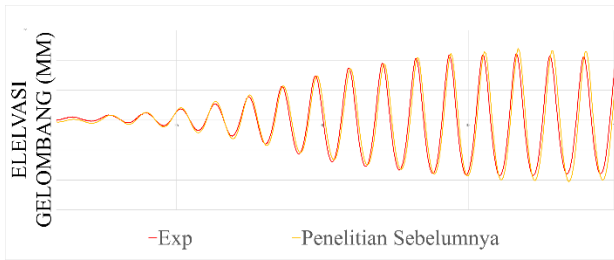
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil dan pembahasan ditampilkan dengan menganalisa perbandingan parametris yang telah dianalisa dengan eksperimen yang telah dilakukan dan penelitian sebelumnya.

Dalam penelitian sebelumnya, menggunakan data yang ditampilkan pada tabel 2.

Tabel 2. Variabel penelitian sebelumnya

No	Nama	Jenis/Ukuran
1	Kernel function	<i>Wendland</i>
2	Time step algorithm	<i>Sympethic</i>
3	Koefisien Artificial viscosity	0.001
4	Coefsound	30.0
5	Jarak Partikel (mm)	3.0
6	Coefh	2,3
7	Waktu simulasi	45 detik

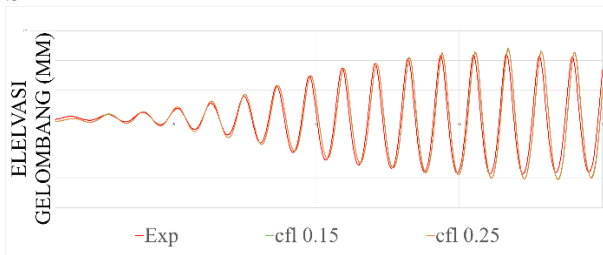


Gambar 2. Hasil penelitian sebelumnya

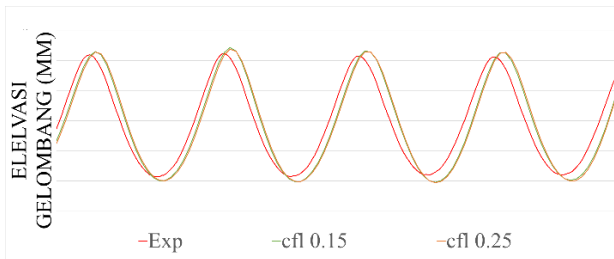
Hasil analisa sebelumnya terdapat perbedaan yang cukup signifikan dengan hasil experiment. Perbedaan tersebut dimana jarak gelombang masih terlihat renggang.

3.1. CFL

Dalam analisa CFL, diambil rentang nilai 0.15, 0.25. Rentang nilai ini diambil untuk mengetahui seberapa sensitifnya parameter CFL dalam analisa SPH



Gambar 3. Perbandingan CFL (1)



Gambar 4. Perbandingan CFL (2)

Untuk mengetahui perbedaan aliran gelombang pada gambar 1, gambar 2, dan gambar 3 dilakukan dengan rerataan pada *time step* ke 35 sampai 40 yang hasilnya ditampilkan pada tabel 4

Tabel 3. Rata – rata jarak puncak dan lembah CFL

No	CFLNumber	Rata - rata
1	0.15	86.15
2	0.2	86.66
3	0.25	86.11

Tabel 3 diketahui hasil CFL dengan nilai yang hampir sama. Selain menghitung rata – rata antara puncak dan lembah, juga dihitung perbedaan beda fase gelombang

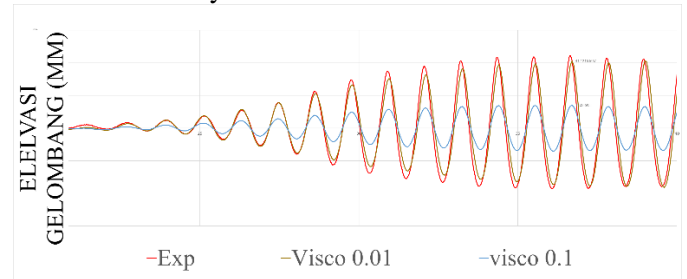
Tabel 4. Beda Fase Parameter CFL

No	CFLNumber	Beda Fase
1	Experiment	35.6
2	0.15	35.82
3	0.25	35.84

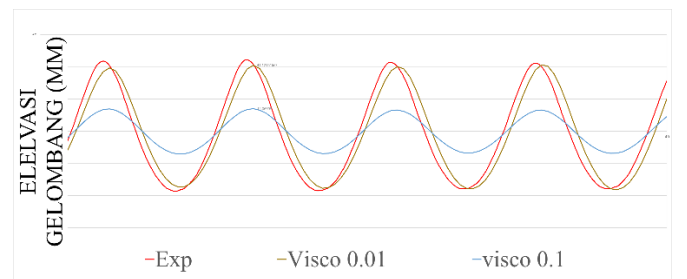
Tabel 4 menunjukkan bahwa nilai CFL memiliki pengaruh yang kecil terhadap akurasi gelombang. Karena nilai CFL merupakan pengendali time step pada SPH agar komputasi bisa stabil. Berdasarkan hasil komputasi nilai CFL 0.2 merupakan standar dalam yang digunakan dan selisih akurasi CFL 0.15 dan 0.25 tidak jauh berbeda.

3.2. Koefisien Artificial Viscosity

Dalam analisa koefisien artificial viscosity, diambil rentang nilai 0.1, 0.01. Rentang nilai ini diambil untuk mengetahui seberapa sensitifnya parameter koefisien artificial viscosity dalam analisa SPH.



Gambar 5. Perbandingan koefisien Artificial viscosity (1)



Gambar 6. Perbandingan koefisien Artificial viscosity (2)

Untuk mengetahui perbedaan aliran gelombang pada, gambar 5 dan 6, dilakukan dengan rerataan pada *time step* ke 35 sampai 40 yang hasilnya ditampilkan pada tabel 5

Tabel 5. Rata – rata jarak puncak dan lembah pada koefisien artificial viscosity

No	Koef. artificial viscosity	Rata - rata
1	0.0001	86.66
2	0.001	75.91
3	0.1	27.33

Tabel 5 adalah hasil rata – rata parameter koefisien artificial viscosity. Selain dengan melihat perbedaan jarak puncak dan lembah analisa juga akan dilakukan untuk beda fase pada analisa koefisien artificial viscosity:

Tabel 6. Beda fase Koefisien Artificial Viscosity

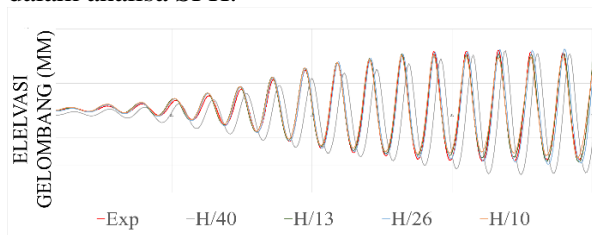
No	Koef. artificial viscosity	Beda fase
1	0.0001	35.6
2	0.001	35.8
3	0.1	35.8

Tabel 6 diketahui hasil analisa koefisien artificial viscosity semakin kecil nilai yang digunakan menyebabkan jarak amplitudo semakin jauh,

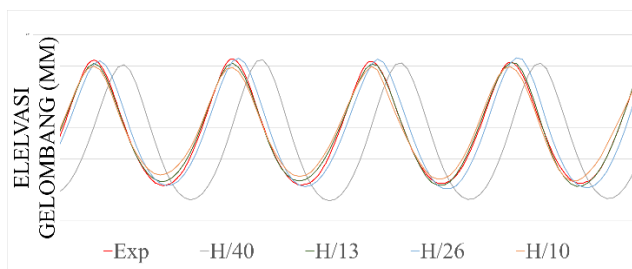
sedangkan untuk semakin besar nilai yang digunakan menyebabkan jarak amplitudo mengecil. Penyebab dari perubahan tinggi gelombang pada analisa koefisien artificial viscosity dikarenakan semakin besar nilai koefisien artificial viscosity maka akan semakin kental juga fluida yang akan dianalisa menyebabkan fluida semakin sulit untuk bergerak. Sehingga didapatkan nilai yang cocok untuk koefisien artificial viscosity rentang antara 0.001 - 0.01

3.3. Jarak awal antar partikel (Dp)

Dalam analisa dp, diambil rentang nilai H/10, H/13, H/26, H/40. Rentang nilai ini diambil untuk mengetahui seberapa sensitifnya parameter Dp dalam analisa SPH.



Gambar 7. Perbandingan dp (1)



Gambar 8. Perbandingan dp (2)

Hasil analisa Gambar 7 dan 8, dp semakin kecil nilai dp menyebabkan jarak amplitudo semakin jauh, sedangkan untuk semakin besar dp menyebabkan jarak amplitudo mengecil.

Tabel 8. Beda fase parameter Dp

No	Jarak Awal	Beda Fase
1	Experiment	35.6
2	H/10	35.7
3	H/13	35.78
4	H/26	35.8
5	H/40	35.98

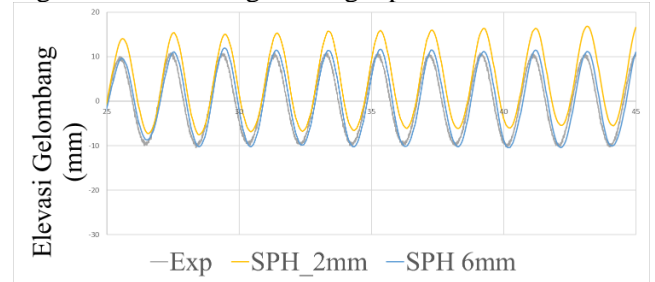
Tabel 8 diketahui bahwa dalam variabel H/40 terdapat beda fasa yang cukup signifikan sehingga didapatkan hasil yang belum mendekati sama dengan eksperimen.

Nilai yang cocok untuk dp dengan kasus gelombang panjang adalah rentang antara H/13 – H/26.

3.4. Double precision

Pada studi ini semua komputasi menggunakan double precision. Hal ini dikarenakan by default DualSPHysics versi 5.0 tidak ada pilihan untuk mengubah kedalam single precision. Ini menunjukkan pilihan penggunaan

double precision merupakan yang terbaik untuk digunakan dibandingkan single precision.



Gambar 9. Hasil analisa kasus yang berbeda dengan menggunakan variabel yang telah didapat.

Hasil analisa gambar 9 dengan menggunakan piston yang berbeda dan dilakukan perubahan dengan menggunakan parameter yang telah didapat, terdapat perubahan yang cukup signifikan yaitu turunnya amplitudo dan periode gelombang yang mendekati eksperimen.

4. KESIMPULAN

Penelitian ini menggunakan metode SPH untuk menganalisis gelombang panjang dengan tipe piston. Eksperimen berlangsung dengan baik dan menghasilkan data yang akurat. Dengan adanya penelitian ini didapatkan variabel peubah dengan karakteristik masing – masing untuk setiap *running*.

CFL number berpengaruh untuk setiap *running* karena berhubungan dengan *time step* semakin besar nilai CFL number maka akan menyebabkan semakin lama proses simulasi.

Begitu juga dengan koefisien artificial viscosity yang merupakan variabel peubah untuk menentukan kekentalan fluida dalam objek penelitian, nilai koefisien artificial viscosity yang cocok untuk gelombang panjang adalah rentang 0.001 – 0.01.

Dalam dp (jarak awal partikel) juga menentukan hasil dari gelombang yang semakin besar nilainya akan memakan waktu lama untuk *running* dan akan menimbulkan beda fasa yang cukup signifikan. Sehingga diambil nilai antara 3mm – 6mm untuk kasus gelombang panjang.

4. Reference

- [1] C. M. Schäfer *et al.*, “A versatile smoothed particle hydrodynamics code for graphic cards,” *Astron. Comput.*, vol. 33, p. 100410, 2020, doi: 10.1016/j.ascom.2020.100410.
- [2] A. Trimulyono, H. Hashimoto, and K. Kawamura, “Experimental Validation of SPH for Wave Generation and Propagation in Large Wave Tank,” *The 27th International Ocean and Polar Engineering Conference*. p. ISOPE-I-17-229, Jun. 25, 2017.
- [3] N. Zhang, X. Zheng, Y. Miao, and X. P. Lv, *A Corrected Incompressible SPH Method for Fixed Body Wave Impact Simulation*, vol. 126. Elsevier B.V., 2015.

- [4] A. Eitzlmayr, G. Koscher, and J. Khinast, "A novel method for modeling of complex wall geometries in smoothed particle hydrodynamics," *Comput. Phys. Commun.*, vol. 185, no. 10, pp. 2436–2448, 2014, doi: 10.1016/j.cpc.2014.05.014.
- [5] D. D. Meringolo, S. Marrone, A. Colagrossi, and Y. Liu, "A dynamic δ -SPH model: How to get rid of diffusive parameter tuning," *Comput. Fluids*, vol. 179, pp. 334–355, 2019, doi: 10.1016/j.compfluid.2018.11.012.
- [6] K. Guo, P. nan Sun, X. yan Cao, and X. Huang, "A 3-D SPH model for simulating water flooding of a damaged floating structure," *J. Hydrodyn.*, vol. 29, no. 5, pp. 831–844, 2017, doi: 10.1016/S1001-6058(16)60795-3.
- [7] A. Barreiro, A. J. C. Crespo, J. M. Domínguez, and M. Gómez-Gesteira, "Smoothed Particle Hydrodynamics for coastal engineering problems," *Comput. Struct.*, vol. 120, pp. 96–106, 2013, doi: 10.1016/j.compstruc.2013.02.010.
- [8] A. Trimulyono, "Validasi Gerakan Benda Terapung Menggunakan Metode Smoothed Particle Hydrodynamics," *Kapal J. Ilmu Pengetah. dan Teknol. Kelaut.*, vol. 15, no. 2, pp. 38–43, 2018, doi: 10.14710/kpl.v15i2.17802.
- [9] A. Trimulyono and H. Hashimoto, "Experimental validation of smoothed particle hydrodynamics on generation and propagation of waterwaves," *J. Mar. Sci. Eng.*, vol. 7, no. 1, 2019, doi: 10.3390/jmse7010017.
- [10] C. Crespo *et al.*, "User Guide for DualSPHysics code," no. December, 2013.