

# SIMULASI TSUNAMI 2-D DENGAN MENGGUNAKAN METODE *SMOOTHED PARTICLE HYDRODYNAMICS (SPH)*

Nenny Lisbeth Minarno<sup>1</sup>, Sri Suryani P.<sup>2</sup>, Dede Tarwidi<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Prodi Ilmu Komputasi Telkom University, Bandung

<sup>1</sup>[nennyln@gmail.com](mailto:nennyln@gmail.com), <sup>2</sup>[wati100175@gmail.com](mailto:wati100175@gmail.com), <sup>3</sup>[dede.tarwidi@gmail.com](mailto:dede.tarwidi@gmail.com)

---

## Abstrak

Besarnya kerusakan yang diakibatkan oleh gelombang tsunami pada pinggir pantai sangat besar, termasuk kerusakan ekosistem lingkungan bahkan banyak jiwa yang meninggal. Oleh karena itu diperlukan solusi untuk mengurangi efek tersebut. Pada tugas akhir ini akan membahas simulasi tsunami dua dimensi untuk mengurangi efek dari gelombang tsunami. Untuk memodelkan permasalahan fluida digunakan metode *Smoothed Particle Hydrodynamics (SPH)*. Persamaan gerak pada tsunami didasarkan oleh persamaan Navier-Stokes dan kontinuitas. Metode SPH dapat mengatasi kedua persamaan tersebut. Metode SPH mendiskritisasikan domain fluida menjadi bentuk partikel SPH. Pada tugas akhir ini terdapat beberapa kasus yaitu diberikan penghalang berupa trapesium dan persegi pada dasar pantai yang berbentuk datar dan landai. Hasil simulasi tsunami dengan durasi 15 detik menggunakan 6435 partikel SPH sudah dapat menghasilkan visualisasi yang cukup realistis dalam menggambarkan pergerakan gelombang tsunami. Menurut hasil validasi didapatkan bahwa pada dasar pantai berbentuk landai, penghalang berupa persegi lebih efektif dibandingkan penghalang berupa trapesium sedangkan pada dasar pantai berbentuk datar, penghalang berupa trapesium maupun persegi tidak terdapat perbedaan nyata.

Kata kunci: tsunami, metode *Smoothed Particle Hydrodynamics (SPH)*, penghalang trapesium dan persegi.

---

## Abstract

This final project presented a two-dimensional simulation using Smoothed Particle Hydrodynamics (SPH). Object based fluid can be modeled using particle systems. Implementation of a system of particles one of which is modeling the fluid. Basically modeling fluid governed by the Navier-Stokes equations and continuity. In completing these equations can be used method Smoothed Particle Hydrodynamics (SPH). SPH is a method commonly used for animation applications, lava flow simulation and modeling fluid. Method Smoothed Particle Hydrodynamics (SPH) used in modeling fluid as SPH method can discretize domain SPH fluid into particle form. In this final SPH used to create tsunami simulations using a two-dimensional form of a trapezoid and square barrier. Tsunami simulation is divided into two basic scenarios is flat and gently sloping beach. Tsunami simulation results with a duration of 15 seconds uses 6435 SPH particles can produce realistic visualization in describing the movement of the tsunami wave. On testing using showed that the basic conditions shaped sloping beach there is a real difference between a barrier in the form of a trapezoid and square. Square form barrier is more effective than barrier in the form of a trapezoid on the basic conditions shaped beach ramps. But the basic conditions shaped beach flat, trapezoidal and square form barrier there is no real difference.

Keywords: tsunami, Smoothed Particle Hydrodynamics method (SPH), a square and a trapezoid obstacle.

---

## 1. Pendahuluan

Seiring dengan semakin berkembangnya teknologi, maka terdapat berbagai sarana yang dapat digunakan untuk menyampaikan informasi dan pengetahuan. Salah satu obyek kajian yang cukup menarik adalah permodelan fenomena gerakan lempeng bumi. Indonesia yang terletak dikawasan lempeng Indo-Australia, Eurasia dan lempeng Pasific yang menyebabkan tingginya aktifitas gerakan lempeng bumi yang saling bertabrakan dan menyebabkan adanya gempa bumi didasar laut. Permodelan yang dapat dilakukan diantaranya permodelan tsunami.

Obyek berbasis fluida dapat dimodelkan menggunakan sistem partikel. Sistem partikel adalah kumpulan massa titik dalam ruang tiga dimensi yang saling terhubung oleh gaya antar

partikel dan dipengaruhi oleh gaya eksternal. Sedangkan partikel adalah obyek yang mempunyai parameter posisi, kecepatan dan gaya interaksi antar sesamanya serta dapat dipengaruhi oleh gaya eksternal. Gaya eksternal yang mempengaruhi sistem partikel diantaranya adalah gaya gravitasi dan adanya gesekan yang terjadi antar partikel [4].

Implementasi sistem partikel diantaranya dalam permodelan fluida dan model-model lain yang mempunyai sifat-sifat fluida [3]. Metode *Smoothed Particle Hydrodynamics (SPH)* bisa digunakan untuk aplikasi animasi, simulasi aliran lava, dan permodelan fluida. Pemanfaatan metode *Smoothed Particle Hydrodynamics (SPH)* dapat digunakan untuk melakukan pemodelan fluida sebagai sistem partikel. Salah satu metode permodelan sistem partikel yang dapat diimplementasikan kedalam simulasi tsunami

adalah *Smoothed Particle Hydrodynamics* (SPH) [6]. Implementasi sistem partikel menggunakan metoda SPH diantaranya digunakan dalam pemodelan tsunami. Kelebihan yang dimiliki oleh metode SPH adalah terdapatnya interaksi antara satu partikel dengan partikel yang lainnya dan interaksi antara partikel dengan obyek lain [5]. Dengan menggunakan SPH, kita dapat mengetahui bentuk gelombang tsunami saat menabrak halangan (*obstacle*) yang berbentuk trapesium maupun persegi. Dan kita juga dapat mengetahui bentuk yang paling efektif untuk mengurangi amplitudo saat tsunami mendekati pinggir pantai.

## 2. Persamaan Navier-Stokes dan Kontinuitas

Momentum adalah sebuah nilai dari perkalian materi yang mempunyai massa ataupun bobot dengan pergerakan atau kecepatan. Persamaan momentum (Persamaan Navier-Stokes) didefinisikan sebagai [9]:

$$\frac{d\mathbf{v}}{dx} = -\frac{1}{\rho} \nabla P + \mathbf{F} \quad (1)$$

Dengan  $\rho$ ,  $\mathbf{v}$ , dan  $P$  masing-masing adalah densitas, vektor kecepatan dan tekanan. Sedangkan  $\mathbf{F}$  merupakan kekuatan eksternal per satuan massa yang dapat menjadi percepatan gravitasi atau gaya tolak per satuan massa.

Densitas dapat diartikan sebagai pengukuran massa setiap satuan volume benda. Semakin tinggi massa jenis suatu benda, maka semakin besar pula massa setiap volumenya.

$$\frac{D\rho}{Dt} = -\rho \nabla \cdot \mathbf{v} \quad (2)$$

dengan  $\nabla \cdot \mathbf{v}$  adalah notasi divergensi.

Persamaan (1) diubah kedalam formulasi SPH sebagai berikut:

$$\frac{d\mathbf{v}_i}{dt} = -\sum_{j=1}^N m_j \left( \frac{P_j}{\rho_j^2} + \frac{P_i}{\rho_i^2} \right) \nabla_i W(\mathbf{x}_i - \mathbf{x}_j, h) + \mathbf{F}_i \quad (3)$$

Dengan  $\mathbf{v}_i$  adalah perubahan kecepatan partikel ke  $i$  terhadap waktu  $t$  yang dipengaruhi oleh massa  $m_j$  dan percepatan dari partikel tetangganya.  $W(\mathbf{x}_i - \mathbf{x}_j, h)$  sebagai pembobotan partikel dan  $\mathbf{F}_i$  adalah gaya luar yang bekerja pada partikel  $i$ .

Pada persamaan (2) akan diubah kedalam formulasi SPH yang dapat dituliskan:

$$\frac{d\rho_i}{dt} = -\sum_{j=1}^N m_j (\mathbf{v}_i - \mathbf{v}_j) \nabla_i W(\mathbf{x}_i - \mathbf{x}_j, h) \quad (4)$$

Dimana  $\rho_i$  adalah perubahan densitas pada partikel ke  $i$  yang dipengaruhi oleh massa dan kecepatan dari partikel tetangga.

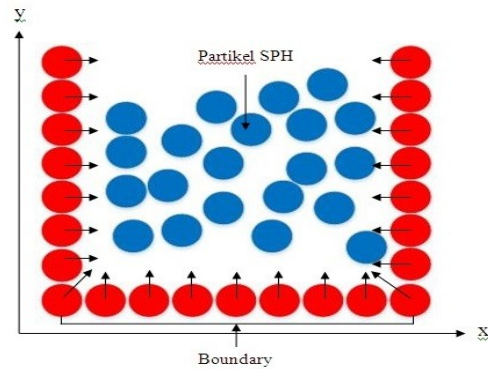
Untuk menghitung hubungan antara densitas dan tekanan digunakan *equation of state* yang dapat ditulis sebagai berikut [2]:

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

Dimana  $\gamma = 7$  dan  $B = c_0^2 \rho_0 / \gamma$ , dengan  $\rho_0 = 1000 \text{ kg/m}^3$  adalah densitas air dan  $c_0$  adalah kecepatan suara.

## 3. Boundary

Boundary merupakan batasan yang terdiri atas partikel yang padat. Boundary biasanya dibuat berupa dinding. Dinding tersebut berfungsi menangani partikel fluida yang menuju ke arah dinding dan mencegah kebocoran. Ilustrasi boundary dapat dilihat pada Gambar 1:



Gambar 1 Boundary

Pemilihan jarak partikel pada pembatas dipengaruhi oleh inisialisasi partikel air. Jika jarak terlalu kecil maka partikel air akan terpental sebelum mendekati batas dinding sedangkan jika jarak terlalu besar maka akan terjadi kebocoran.

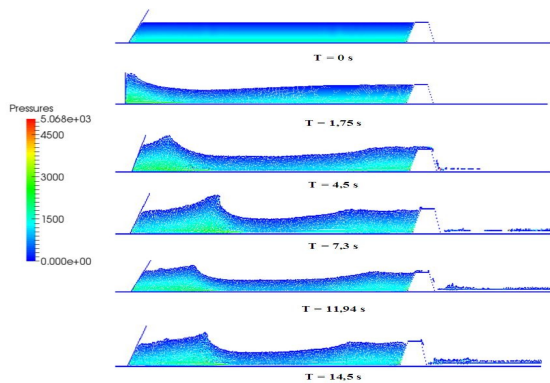
## 4. Alur Simulasi SPH

Berikut adalah langkah umum simulasi SPH yang digunakan [9]:

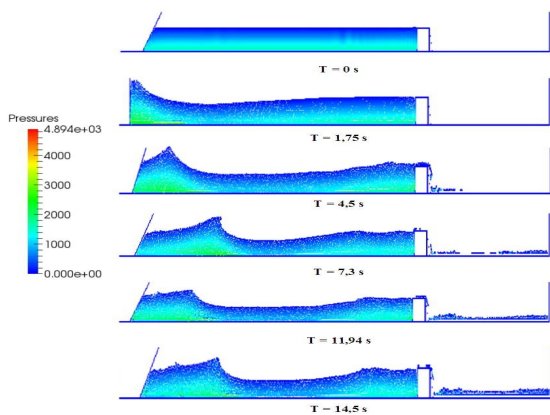
1. Diskritisasi domain partikel, diskritisasi persamaan dengan pendekatan partikel, inisialisasi dan batasan kondisi untuk semua partikel SPH.
2. Mencari partikel ketetangaan
3. Perbaharui kondisi dibawah ini hingga mencapai batas waktu yang telah ditentukan:
  - a. Partikel ketetangaan.
  - b. Hitung perubahan dari tekanan partikel menggunakan persamaan (5).
  - c. Hitung percepatan, kecepatan, dan posisi menggunakan persamaan (3).
  - d. Hitung perubahan dari densitas partikel menggunakan persamaan (4).

## 5. Hasil dan Pembahasan

Metode SPH akan diimplementasikan ke dalam simulasi tsunami dua dimensi dengan penghalang berupa trapesium dan persegi. Implementasi pada simulasi tsunami dilakukan berdasarkan dua skenario yaitu berdasarkan keadaan pantai dan jumlah partikel. Berikut hasil implementasi pada keadaan pantai berupa datar:



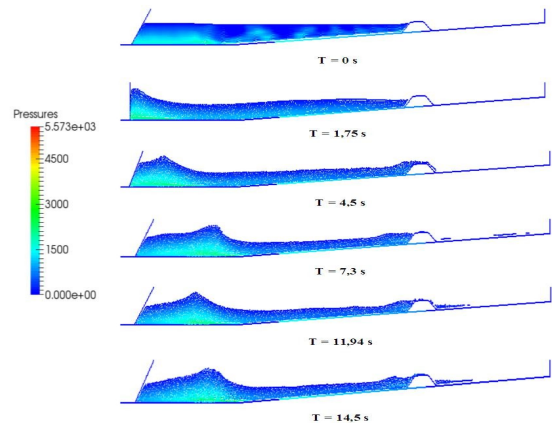
**Gambar 2 Simulasi berdasarkan tekanan dengan penghalang trapesium**



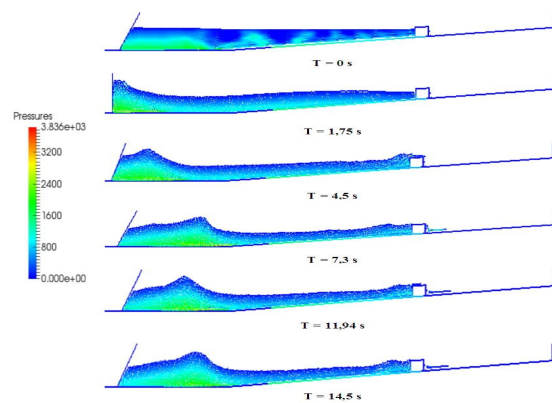
**Gambar 3 Simulasi berdasarkan tekanan dengan penghalang persegi**

Pada Gambar 2 didapatkan hasil bahwa selama 15 detik, rata-rata tekanan yang dihasilkan sebesar 577,998 Pa menggunakan jumlah partikel sebanyak 6435 partikel SPH. Sedangkan pada Gambar 3 didapatkan hasil bahwa selama 15 detik, rata-rata tekanan yang dihasilkan sebesar 561,45 Pa menggunakan jumlah partikel sebanyak 6571 partikel SPH. Tekanan terbesar terjadi saat partikel menabrak penghalang yaitu 5067,81 Pa pada Gambar 2 dan 4894,41 Pa pada Gambar 3.

Hasil implementasi pada keadaan pantai berupa landai adalah sebagai berikut:



**Gambar 4 Simulasi berdasarkan tekanan dengan penghalang trapesium**



**Gambar 5 Simulasi berdasarkan tekanan dengan penghalang persegi**

Pada Gambar 4 didapatkan hasil bahwa selama 15 detik, rata-rata tekanan yang dihasilkan sebesar 393,46 Pa sedangkan pada Gambar 5 didapatkan hasil bahwa selama 15 detik, rata-rata tekanan yang dihasilkan sebesar 404,10 Pa. Pada Gambar 4 maupun Gambar 5 menggunakan jumlah partikel sebanyak 6435 partikel SPH. Tekanan terbesar terjadi saat partikel menabrak penghalang yaitu 5572,53 Pa pada Gambar 4 dan 3835,8 Pa pada Gambar 3. Semakin besar tekanan yang dialami partikel SPH, semakin besar pula kecepatan yang dialami partikel SPH.

## 6. Validasi

Validasi data dilakukan menggunakan uji t. Untuk melakukan uji t, dibutuhkan beberapa syarat yaitu data harus kurang dari 30, data harus berdistribusi normal dan data harus homogen. Pada tugas akhir ini, untuk menguji data berdistribusi normal atau tidak menggunakan uji *Shapiro-Wilk*. Setelah didapatkan bahwa data berdistribusi normal, dilakukan dengan menguji homogenitas data menggunakan uji *Levene*. Setelah semua syarat sudah terpenuhi, maka dilakukan uji t.

Berdasarkan data yang diperoleh selama proses simulasi didapatkan bahwa pada skenario

datar, penghalang menggunakan trapesium maupun persegi tidak terdapat perbedaan yang nyata namun pada skenario landai terdapat perbedaan nyata. Dari hasil data yang diperoleh sebelumnya didapatkan bahwa pada skenario landai, penghalang menggunakan persegi lebih efektif untuk mengurangi ketinggian gelombang tsunami dibandingkan penghalang berupa trapesium.

## 7. Kesimpulan

Kesimpulan berdasarkan hasil pengujian dan analisis yang dilakukan adalah:

1. Metode SPH dapat diimplementasikan kedalam simulasi tsunami dua dimensi dengan durasi 15 detik menggunakan 6435 partikel SPH. Dibutuhkan waktu 3298.40869 detik untuk kerapatan partikel 0,01 meter dan waktu 31476.0352 detik untuk kerapatan partikel 0,005 meter.
2. Bentuk karakteristik dari gelombang tsunami berdasarkan dua aspek yaitu berdasarkan tekanan, kecepatan dan jumlah partikel SPH.
  - a. Semakin besar tekanan yang diterima oleh partikel SPH maka semakin besar pula kecepatan partikel SPH.
  - b. Pada skenario datar maupun landai, tekanan dan kecepatan pada penghalang berbentuk trapesium lebih besar dibandingkan penghalang berbentuk persegi.
3. Berdasarkan hasil validasi didapatkan penghalang berbentuk trapesium maupun persegi pada kasus 1 tidak memiliki perbedaan yang nyata sedangkan pada kasus 2 terdapat perbedaan nyata. Penghalang berupa persegi lebih efektif dibandingkan penghalang berupa trapesium pada kasus 2.

## Daftar Pustaka:

- [1] A. Colagrossi, M. Landrini. *Numerical simulation of interfacial flows by smoothed particle hydrodynamics*, Journal of Computational Physics 191 (2003) 448-475.
- [2] Gesteira. M, Rogers. B, Dalrymple. R, Crespo. A, Narayanaswamy. M (2010). User Guide For The SPPhysics Code.
- [3] G.R. Liu, M.B. Liu (2003). *Smoothed Particle Hydrodynamics – a meshfree particle method*. World Scientific Publishing, Singapore.
- [4] Hamdi, Khairul (2008). Implementasi sistem partikel menggunakan metoda Smoothed Particle Hydrodynamics (SPH) untuk simulasi aliran lava. Institut Teknologi Bandung, Bandung.
- [5] J.J. Monaghan, R.A. Gingold, *Shock simulation by the particle method SPH*, Journal of Computational Physics 52 (1983) 374-389.
- [6] J.J. Monaghan. *An introduction to SPH*. Computer Physics Communications 48 (1988) 89-96 89 North-Holland, Amsterdam.
- [7] M. Liu and G. Liu (2010). *Smoothed Particle Hydrodynamics (SPH): an Overview and Recent Developments*. Barcelona, Spain.
- [8] Sugito, Nanin Trianawati (2008). Tsunami. Universitas Pendidikan Indonesia, Bandung.
- [9] Tarwidi, Dede (2012). The Smoothed Particle Hydrodynamics Method For Two-Dimensional Stefan Problem. Institut Teknologi Bandung