

**SIMULASI RESPON *FLOATING BOX STRUCTURE* DENGAN
MOORING LINE TERHADAP GELOMBANG *REGULER*
DENGAN *DualSPH***

TUGAS AKHIR



Aflina Jeli

1202004008

PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL

FAKULTAS TEKNIK DAN ILMU KOMPUTER

UNIVERSITAS BAKRIE

JAKARTA

2024

**SIMULASI RESPON *FLOATING BOX STRUCTURE* DENGAN *MOORING LINE*
TERHADAP GELOMBANG *REGULER* DENGAN *DualSPH***

TUGAS AKHIR

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana teknik



Aflina Jeli

1202004008

PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL

FAKULTAS TEKNIK DAN ILMU KOMPUTER

UNIVERSITAS BAKRIE

JAKARTA


2024

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri, dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk telah saya nyatakan dengan benar.

Nama : Aflina Jeli

Nim : 1202004008

Tanda Tangan : 

Tanggal : 26 Agustus 2024

HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan oleh:

Nama : Aflina Jeli

NIM : 1202004008

Program Studi : Teknik Sipil

Fakultas : Teknik dan Ilmu Komputer

Judul Skripsi : Simulasi Respon *Floating Box Structure* Dengan *Mooring Line*
Terhadap Gelombang *Reguler* Dengan *DualSPH*

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bahan persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer, Universitas Bakrie

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Teuku Muhammad Rasyif, S.T., M.T., Ph.D.



Penguji : Dr.Ir. Budianto Ontowirjo, MSc.



Penguji : Dr. Mohammad Ihsan, S.T., M.T., M.Sc.



Ditetapkan di : Jakarta

Tanggal : 26 Agustus 2024

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kami panjatkan ke hadirat Tuhan Yesus dan Bunda Maria atas segala kasih, berkat, dan bimbingan-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik. Skripsi ini diajukan untuk memenuhi syarat kelulusan mata kuliah Skripsi di Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer, Universitas Bakrie. Penyelesaian skripsi ini membutuhkan usaha yang keras dan kerja yang tekun. Namun, karya ini tidak akan selesai tanpa dukungan dan bantuan dari orang-orang tercinta di sekitar saya. Oleh karena itu, dengan penuh rasa syukur, penulis ingin menyampaikan terima kasih kepada:

1. Orang Tua Tercinta

Terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Bapak Alfonsius dan Mama Ursula tercinta yang selalu memberikan dukungan, doa, dan kasih ivumeri tanpa henti. Terima kasih atas segala pengorbanan dan cinta kasih yang telah diberikan sehingga penulis dapat menyelesaikan pendidikan ini dengan baik. Gelar yang saya dapatkan setelah pendidikan ini adalah salah satu pencapaian kalian sebagai orang tua yang sangat bertanggung jawab dan hebat dalam mendidik anak-anak kalian

2. Dosen Pembimbing

Ucapan terima kasih juga penulis sampaikan kepada dosen pembimbing, Bapak Teku Muhammad Rasif, S.T., M.T., Ph.D., yang telah memberikan bimbingan, arahan, dan koreksi yang sangat berharga selama proses penyusunan skripsi ini. Tanpa bimbingan dan saran dari beliau, penulis tidak akan mampu menyelesaikan tugas akhir ini dengan baik.

3. Seseorang yang sering saya sapa, Ikuk

Terima kasih atas waktu yang selalu Anda berikan, atas dukungan dan motivasi yang tak pernah berhenti Anda ucapkan dan lakukan. Terima kasih juga karena selalu setia mendengarkan keluh kesah penulis selama proses penyusunan skripsi ini. Terima kasih telah menjadi tempat paling nyaman untuk pulang ketika penulis membutuhkan ketenangan. Terimakasih juga

4. Teman-teman Seperjuangan

Terima kasih juga penulis sampaikan kepada teman-teman seperjuangan: Anistya, Sri, Fadly, Rifo, Fadil, dan Jarwo, yang selalu memberikan motivasi, bantuan, dan kebersamaan selama masa perkuliahan hingga penyusunan skripsi ini. Kebersamaan dan persahabatan kalian sangat berarti dan menjadi penyemangat tersendiri bagi penulis.

Akhir kata, penulis berharap semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat dan kontribusi yang positif bagi perkembangan ilmu pengetahuan. Penulis juga menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari sempurna, oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun sangat penulis harapkan

Jakarta, 2024

LEMBAR PESETUJUAN PUBLIKASI SKRIPSI

Sebagai civitas akademik Universitas Bakrie, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Sri Afriani Limbong

NIM : 1202004043

Program Studi : Teknik Sipil

Fakultas : Teknik dan Ilmu Komputer Jenis

Tugas Akhir : Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Bakrie Hak Bebas Royalti Noneksklusif (Non exclusive Royalty-Free Right) atas karya ilmiah saya yang berjudul :

**SIMULASI RESPON *FLOATING BOX STRUCTURE* DENGAN *MOORING LINE*
TERHADAP GELOMBANG *REGULER* DENGAN *DualSPH***

Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Bakrie berhak menyimpan, mengalih media/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), merawat, dan mempublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta untuk kepentingan akademis.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Jakarta

Pada Tanggal : 26 Agustus

Yang Menyatakan



Aflina Jeli

SIMULASI RESPON *FLOATING BOX STRUCTURE* DENGAN *MOORING LINE* TERHADAP GELOMBANG *REGULER* DENGAN *DualSPH*Aflina Jeli¹

ABSTRAK

Penelitian ini memvalidasi metode *DualSPHysics* untuk memodelkan *wave*, *gauge*, *surge*, *heave*, *pitch*, dan *mooring line* pada kotak terapung dalam *flume* gelombang 3D. Pengujian dilakukan pada kotak berukuran $20 \times 20 \times 13.2$ cm dengan massa jenis 600 kg/m^3 , menggunakan gelombang *reguler* H: 0.12 m dan T: 1.60 s yang dihasilkan oleh generator piston. Mooring line berbahan paduan besi dan rantai dengan diameter 1.8 mm dan kekakuan aksial 19 N/mm digunakan. Simulasi dilakukan dengan tiga nilai distance of particle (*dp*) berbeda: 0.02 m, 0.03 m, dan 0.04 m. Hasil menunjukkan bahwa pemilihan *dp* sangat mempengaruhi akurasi dan efisiensi komputasi. *Dp* 0.02 m memberikan resolusi tertinggi dengan waktu simulasi terlama, sementara *dp* 0.04 m memberikan waktu simulasi tercepat dengan resolusi lebih rendah. Meskipun variasi *dp* tidak memengaruhi pola umum gelombang secara signifikan, terdapat variasi pada amplitudo dan fase di beberapa titik. Pada *surge*, *heave*, dan *pitch*, hasil simulasi sesuai dengan data eksperimen, namun terdapat perbedaan pada titik terendah gelombang, terutama pada *dp* 0.04 m. Ketegangan mooring line menunjukkan perbedaan signifikan antara hasil simulasi dan data eksperimen. Validasi model terhadap data Dominguez et al. (2019) dengan RMSE, MAE, NSE, dan RSR menunjukkan hasil bervariasi di berbagai titik observasi. Beberapa titik menunjukkan performa baik dengan nilai NSE tinggi, namun nilai RSR menunjukkan kesalahan prediksi yang cukup tinggi di beberapa titik. Ini menunjukkan bahwa meskipun model *DualSPHysics* memiliki potensi yang baik, kalibrasi lebih lanjut diperlukan untuk meningkatkan akurasi pada parameter tertentu, terutama pada tegangan mooring line dan beberapa titik observasi.

Kata kunci: *DualSPHysics*, pemodelan gelombang, kotak terapung, *flume* gelombang 3D, *surge*, gerakan *heave*, *pitch*, tali tambat, resolusi partikel, kesalahan prediksi, validasi model, data eksperimen, dan performa model.

**SIMULASI RESPON *FLOATING BOX STRUCTURE* DENGAN *MOORING LINE*
TERHADAP GELOMBANG *REGULER* DENGAN *DualSPH***

Aflina jeli¹

ABSTRACT

This study validates the DualSPHysics method for modeling waves, gauges, surge, heave, pitch, and mooring lines on a floating box in a 3D wave flume. Testing was conducted on a box measuring 20 × 20 × 13.2 cm with a density of 600 kg/m³, using regular waves with H: 0.12 m and T: 1.60 s generated by a piston-type wave generator. Mooring lines made of iron alloy and chain with a diameter of 1.8 mm and an axial stiffness of 19 N/mm were used. Simulations were performed with three different particle distances (dp): 0.02 mm, 0.03 mm, and 0.04 mm. The results show that the choice of dp significantly affects both accuracy and computational efficiency. A dp of 0.02 mm provides the highest resolution but requires the longest simulation time, while a dp of 0.04 mm offers the fastest simulation time with lower resolution. Although dp variation does not significantly affect the overall wave pattern, variations in amplitude and phase are observed at some points. For surge, heave, and pitch, the simulation results align with experimental data, but differences are noted at the wave trough, particularly with dp of 0.04 mm. The tension in the mooring lines shows significant discrepancies between simulation results and experimental data. Validation of the model against data from Dominguez et al. (2019) using RMSE, MAE, NSE, and RSR reveals varied results across different observation points. Some points exhibit good performance with high NSE values, while RSR values indicate relatively high prediction errors at certain points. This suggests that, while the DualSPHysics model shows considerable potential, further calibration is needed to enhance accuracy for specific parameters, particularly mooring line tension and some observation points.

Keywords: DualSPHysics, wave modeling, floating box, 3D wave flume, surge, heave, pitch, mooring lines, particle resolution, prediction errors, model validation, experimental data, and model performance.

DAFTAR ISI

| | |
|--|-------------|
| HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS | ii |
| HALAMAN PENGESAHAN | iii |
| KATA PENGANTAR | iv |
| LEMBAR PESETUJUAN PUBLIKASI SKRIPSI | vi |
| ABSTRAK..... | vii |
| ABSTRACT..... | viii |
| DAFTAR ISI | ix |
| DAFTAR GAMBAR | xi |
| DAFTAR TABEL..... | xiii |
| BAB I | 1 |
| 1.1. Latar Belakang..... | 1 |
| 1.2. Rumusan Masalah | 4 |
| 1.3. Batasan Masalah | 4 |
| 1.4. Tujuan Penelitian..... | 5 |
| 1.5. Manfaat Penelitian..... | 5 |
| BAB II..... | 6 |
| TINJAUAN PUSTAKA | 6 |
| 2.1. Turbin Angin Lepas Pantai | 6 |
| 2.1.1. Struktur Turbin Angin Lepas Pantai | 6 |
| 2.1.2. Tipe Dasar Struktur Pendukung | 7 |
| 2.2. Gelombang Laut | 18 |
| 2.2.1. Mekanisme Terjadinya Gelombang Laut | 18 |
| 2.2.2. Penyebab Proses Terjadinya Gelombang | 20 |
| 2.2.3. Susunan Gelombang Laut | 20 |
| 2.2.4. Klasifikasi Macam Jenis Gelombang Laut | 22 |
| 2.3. Metode SPH (Hidrodinamika Partikel Halus)..... | 24 |
| 2.3.1 Program <i>DualSPHysics</i> | 24 |
| 2.3.2 Prinsip Dasar <i>DualSPHysics</i> | 25 |
| 2.4. Uji Perbandingan Model | 27 |

| | |
|--|-----------|
| BAB III | 31 |
| METODE PENELITIAN | 31 |
| 3.1. Diagram Alir Perancangan | 31 |
| 3.2. Metode Pengumpulan Data..... | 32 |
| 3.3. Pengolahan Data Skunder Dengan Digitasi | 41 |
| 3.3.1 Langkah-langkah Digitasi..... | 41 |
| 3.3.2 Data Hasil Digitasi | 46 |
| 3.4. Model <i>Setup</i> | 50 |
| BAB IV ` | 58 |
| HASIL DAN PEMBAHASAN..... | 58 |
| 4.1. Proses Penjalaran | 58 |
| 4.2. Uji Sensitivitas..... | 60 |
| 4.3. Validasi menggunakan RMSE, MAE, NSE, dan RSR | 82 |
| BAB V | 87 |
| KESIMPULAN DAN SARAN..... | 87 |
| 5.1. Kesimpulan..... | 87 |
| 5.2. Saran | 89 |
| DAFTAR PUSTAKA | 90 |
| LAMPIRAN | 93 |

DAFTAR GAMBAR

| | |
|--|----|
| Gambar 1. 1 Presentasi Penyumbang Emisi Gas Rumah Kaca | 1 |
| Gambar 2. 1 Turbin Angin Lepas Pantai | 6 |
| Gambar 2. 2 Komponen Struktur FOWT | 7 |
| Gambar 2. 3 Struktur Pendukung Tipe Monopiles | 8 |
| Gambar 2. 4 Struktur Pendukung Tipe Jacket | 9 |
| Gambar 2. 5 struktur Pendukung Tipe Gravity base..... | 9 |
| Gambar 2. 6 Struktur Pendukung Tipe Tripod | 10 |
| Gambar 2. 7 Komponen struktur Mooring Sitemas FOWT..... | 11 |
| Gambar 2. 8 Catenary moorning..... | 12 |
| Gambar 2. 9 Taut Mooring | 12 |
| Gambar 2. 10 Tention Leg Mooring | 13 |
| Gambar 2. 11 Skema turbin angin terapung spar buoy, semi-submersible dan tension- leg | 14 |
| Gambar 2. 12 Struktur FOWT Tipe Spar-buoy | 15 |
| Gambar 2. 13 Struktur Pondasi Tipe Semi-submersible..... | 16 |
| Gambar 2. 14 Struktur FOWT Tipe Tension Leg..... | 17 |
| Gambar 2. 15 Gelombang Laut..... | 18 |
| Gambar 2. 16 Mekanisme Pembentuk Gelombang | 19 |
| Gambar 2. 17 Orbital Gelombang yang semakin mengecil..... | 19 |
| Gambar 2. 18 Bagian-bagian dari gelombang laut | 21 |
| Gambar 2. 19 Gelombang Pembentuk pantai | 22 |
| Gambar 2. 20 Gelombang Perusak Pantai | 23 |
| Gambar 3. 1 Diagram Alir Pelaksanaan..... | 31 |
| Gambar 3. 2 Ukuran Flume..... | 33 |
| Gambar 3. 3 Rincian Konfigurasi Mooring Lines | 35 |
| Gambar 3. 4 Posisi Wave Gauge | 35 |
| Gambar 3. 5 Menunjukkan Waktu Kotak Terapung Berinteraksi Dengan Gelombang Menggunakan DualSPHysics dan MoorDyn..... | 37 |
| Gambar 3. 6 Hasil dari perbandingan antara waktu percobaan dengan elevasi permukaan bebas pada WG1, WG2 dan WG3 | 38 |
| Gambar 3. 7 Perbandingan antara waktu percobaan dengan numerik untuk lonjakan, heave dan pitch dari floating box | 39 |
| Gambar 3. 8 Perbandingan antara waktu percobaan dengan numerik ketegangan dari tali tambat | 40 |
| Gambar 3. 9 Menampilkan Gambar Grafik Pada Lembar Kerja ArcGIS..... | 42 |
| Gambar 3. 10 Menentukan Kordinat Untuk Acuan Digitasi | 42 |
| Gambar 3. 11 Cara Menampilkan Gambar Pada lembar Kerja ArcGIS..... | 43 |
| Gambar 3. 12 Tampilan Gambar Grafik Setelah Di Run..... | 43 |
| Gambar 3. 13 Membuat <i>shapefile</i> | 44 |
| Gambar 3. 14 Grafik Sebelum Di Digitasi..... | 44 |
| Gambar 3. 15 Grafik Setelah Didigitasi..... | 45 |

| | |
|---|----|
| Gambar 3. 16 Membuat Tabel Hasil Digitasi Data..... | 45 |
| Gambar 3. 17 Tabel Hasil DIGitasi Data..... | 46 |
| Gambar 3. 18 Hasil digitasi WG 1 | 47 |
| Gambar 3. 19 Hasil digitasi WG2..... | 47 |
| Gambar 3. 20 Hasil digitasi WG3..... | 47 |
| Gambar 3. 21 Hasil digitasi surge..... | 48 |
| Gambar 3. 22 Hasil digitasi Heave | 48 |
| Gambar 3. 23 Hasil digitasi Picth | 49 |
| Gambar 3. 24 Hasil digitasi line 1 | 49 |
| Gambar 3. 25 Hasil digitasi line 3 | 50 |
| Gambar 3. 26 Input geometri file xml setup1 sampai setupa 3 untuk : (a) Garis potongan, (b) Bangkitan Gelombang, (c) Bentuk Batimetri, dan (d) Geometri fluida... | 52 |
| Gambar 3. 27 Input <i>contantsdef</i> pada File xml..... | 53 |
| Gambar 3. 28 input parameter | 53 |
| Gambar 3. 29 Input kondisi awal pada file xml..... | 54 |
| Gambar 3. 30 Input bangkit gelombang pada File xml | 55 |
| Gambar 3. 31 Input data mooring line | 56 |
| Gambar 3. 32 Hasil permodelan mooring line..... | 56 |
| Gambar 3. 33 Titik Wave gauge: (a) Wg1, (b) Wg2, (c) Wg3, (d) wg4..... | 57 |
| Gambar 3. 34 Hasil permodelan Wave gauge Pada dulsph | 57 |
| Gambar 4. 1 Proses penjalaran gelombang pada saat : (a) 6 detik, (b) 12 detik, (c) 17 detik. | 58 |
| Gambar 4. 2 simulasi pergerakan <i>mooring line</i> pada saat: (a) 0 detik, (b) 6 detik, (c) 12 detik | 59 |
| Gambar 4. 3 Uji sensitivitas pada Wg1: (a) <i>dp</i> 0.02, (b) <i>dp</i> 0.03, (c) <i>dp</i> 0.04..... | 62 |
| Gambar 4. 4 Uji sensitivitas wg2 pada: (a) <i>dp</i> 0.02, (b) <i>dp</i> 0.03, (c) <i>dp</i> 0.04..... | 64 |
| Gambar 4. 5 Uji sensitivitas wg3 pada: (a) <i>dp</i> 0.02, (b) <i>dp</i> 0.03, (c) <i>dp</i> 0.04..... | 67 |
| Gambar 4. 6 Uji sensitivitas wg 4 pada: (a) <i>dp</i> 0.02, (b) <i>dp</i> 0.03, (c) <i>dp</i> 0.04..... | 69 |
| Gambar 4. 7 Perbandingan surge pada: (a) <i>dp</i> 0.02, (b) <i>dp</i> 0.03, (c) <i>dp</i> 0.04..... | 72 |
| Gambar 4. 8 Perbandingan Heave pada: (a) <i>dp</i> 0.02, (b) <i>dp</i> 0.03, (c) <i>dp</i> 0.04 | 74 |
| Gambar 4. 9 Perbandingan picth pada: (a) <i>dp</i> 0.02 , (b) <i>dp</i> 0.03, (c) <i>dp</i> 0.04 | 77 |
| Gambar 4. 10 Perbandingan Ketegangan mooring line 1 pada: (a) <i>dp</i> 0.02, (b) <i>dp</i> 0.03, (c) <i>dp</i> 0.04..... | 79 |

DAFTAR TABEL

| | |
|---|----|
| Tabel 3. 1 Parameter Kota Terapung dan Mooring Lines | 33 |
| Tabel 3. 2 Titik Kordinat Mooring Lines..... | 34 |
| Tabel 3. 3 Posis wave gauge | 35 |
| Tabel 3. 4 Data Hasil Pengujian Gelombang..... | 36 |
| Tabel 4. 1 Nilai validasi <i>wave gauge</i> | 83 |
| Tabel 4. 2 Nilai validasi <i>surge, heave, dan pitch</i> | 85 |
| Tabel 4. 3 Nilai validasi untuk tension line | 86 |