

Transformasi Gelombang pada Batimetri Ekstrim dengan Model Numerik SWASH

Studi Kasus: Teluk Pelabuhan Ratu, Sukabumi

YESSI NIRWANA KURNIADI¹ dan WIWIN WINDUPRANATA²

1. Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Nasional Bandung
2. Kelompok Keahlian Sains dan Sistem Kerekayasaan Wilayah Pesisir dan Laut, Fakultas Ilmu dan Teknologi Kebumihan, Institut Teknologi Bandung
Email: yessi@itenas.ac.id

ABSTRAK

SWASH adalah model numerik yang dikembangkan oleh Deltares dan DELFT University of Technology. Model ini telah dikaji dalam kemampuannya memodelkan gelombang di daerah nearshore, gelombang pecah maupun run up gelombang. Namun, belum banyak penelitian yang mengkaji model numerik SWASH pada perairan dengan batimetri yang ekstrim. Kemampuan model numerik SWASH untuk simulasi hidrodinamika di daerah pantai pada kondisi ekstrim dikaji pada penelitian ini. Lokasi studi yang dipilih adalah Teluk Pelabuhan Ratu. Pada lokasi ini profil batimetri beragam terdiri dari teluk, tanjung, pantai curam, dan pada lokasi sekitar 500 m sebelah barat daya, kedalamannya mencapai lebih dari 100 m. Kondisi batimetri yang ekstrim ini sangat baik guna menguji dan mengkaji kemampuan model hidrodinamika SWASH. Hasil analisis selama 40 menit waktu simulasi menunjukkan transformasi gelombang, yaitu refraksi, refleksi, shoaling dan interferensi gelombang. Gelombang ekstrim terjadi dari hasil interferensi gelombang dan model numerik tetap stabil pada kondisi ekstrim ini. Model numerik SWASH terbukti dapat memodelkan kondisi hidrodinamika ekstrim pada batimetri ekstrim dengan baik.

Kata kunci: SWASH, model numerik, gelombang, batimetri, ekstrim

ABSTRACT

SWASH model is numerical model developed by Deltares and DELFT University of Technology. The applicability of this model has been investigated for nearshore waves, breaking waves and also wave run up. However, there are still need to test this model into extreme condition. This numerical model has been tested for bathymetry extreme in this research. Pelabuhan Ratu Bay is choosen for this test due to its bathymetry profiles, where there are steep beach, bay, cape, and also a very deep trough. The result shows that in 40 minutes simulation time, there are wave transformation such as refraction, reflection, shoaling, and wave interference. Extreme wave due to wave interference was simulated during simulation and the numerical model was still stable. It is proofed that SWASH model can do the hydrodynamic simulation on extreme wave and also extreme bathymetry profile.

Keywords: SWASH, numerical model, wave, bathymetry, extreme

1. PENDAHULUAN

Model SWASH adalah model numerik hidrodinamika 2D yang khusus diaplikasikan pada area pantai dengan memperhitungkan kondisi hidrodinamika gelombang dan kenaikan muka air yang fluktuatif. SWASH merupakan singkatan dari *Simulating Waves till Shore*, model ini dikembangkan oleh Deltares dan DELFT University of Technology dari model hidrodinamika sebelumnya SWAN, namun SWASH dikembangkan dengan harapan dapat memodelkan hidrodinamika pada skala waktu yang panjang, skala ruang yang luas, pada perairan dangkal dan pada batimetri yang kompleks. SWASH dikembangkan untuk memodelkan perambatan gelombang individu (Zijlema, M., Stelling, G. and Smit, P., 2011), sementara pada SWAN dilakukan pemodelan penjarangan energi gelombang secara spektral (Booij, N., Holthuijsen, L.H. and R.C. Ris, 1996). Model numerik SWASH ini dapat digunakan untuk mensimulasikan hidrostatik, hidrodinamika, maupun transformasi gelombang yang kompleks di perairan dangkal. Beberapa penelitian telah menggunakan SWASH untuk simulasi transformasi gelombang maupun hidrodinamika di perairan dangkal, seperti pemodelan gelombang pecah (Zijlema dan Stelling, 2013), pemodelan *run up* gelombang (Stelling dan Zijlema, 2009) ataupun pemodelan aliran turbulen di daerah *surf zone* (Zijlema, 2014). Pada beberapa penelitian tersebut dapat disimpulkan bahwa SWASH dapat memodelkan hidrodinamika di daerah pantai dengan baik. Pada penelitian ini akan dikaji kemampuan SWASH dalam memodelkan hidrodinamika gelombang pada pola batimetri yang kompleks dan ekstrim.

Lokasi Teluk Pelabuhan Ratu berada di pesisir selatan Pulau Jawa, Jawa Barat, Indonesia, berjarak 400 km ke arah selatan dari Jakarta. Pada lokasi ini gelombang dominan datang dari arah selatan dan arah tenggara. Bentuk topografi dan batimetri di lokasi ini sangat kompleks, terdiri dari teluk, tanjung, pantai curam, sebagian pantai landai, dan pada lokasi sekitar 500 m sebelah barat daya, kedalamannya mencapai lebih dari 100 m. Kondisi batimetri yang ekstrim ini sangat bagus guna menguji dan mengkaji kemampuan model hidrodinamika SWASH.

2. PERSAMAAN PENGATUR

2.1. Definisi

Model SWASH diturunkan dari persamaan Navier Stokes yang menjabarkan konservasi massa dan momentum (**Persamaan 1**). Untuk arah sumbu x menggunakan **Persamaan 2**, sedangkan untuk arah y menggunakan **Persamaan 3**.

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{\partial hu}{\partial x} + \frac{\partial hv}{\partial y} = 0 \quad \dots (1)$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + g \frac{\partial \zeta}{\partial x} + \frac{1}{h} \int_{-d}^{\zeta} \frac{\partial q}{\partial x} dz + c_f \frac{u\sqrt{u^2 + v^2}}{h} = \frac{1}{h} \left(\frac{\partial h\tau_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial h\tau_{xy}}{\partial y} \right) \quad \dots (2)$$

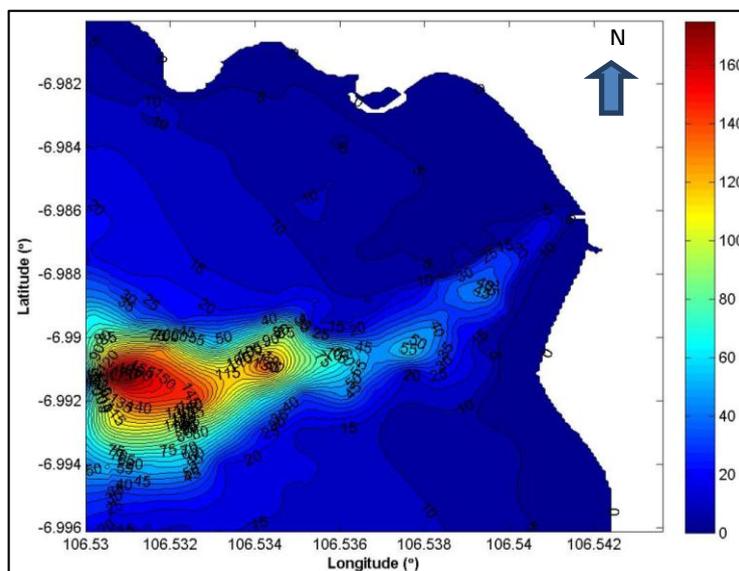
$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + g \frac{\partial \zeta}{\partial y} + \frac{1}{h} \int_{-d}^{\zeta} \frac{\partial q}{\partial y} dz + c_f \frac{v\sqrt{u^2 + v^2}}{h} = \frac{1}{h} \left(\frac{\partial h\tau_{yx}}{\partial x} + \frac{\partial h\tau_{yy}}{\partial y} \right) \quad \dots (3)$$

dimana t adalah waktu, x dan y adalah titik lokasi, $\zeta(x, y, t)$ adalah elevasi yang dihitung dari muka air tenang (MAT), $d(x, y)$ adalah MAT, $h = \zeta + d$ adalah kedalaman atau kedalaman total, $u(x, y, t)$ dan $v(x, y, t)$ adalah kecepatan aliran untuk kedalaman rata-rata, $q = (x, y, tz, t)$ adalah tekanan non hidrostatik, g adalah percepatan gravitasi, c_f adalah koefisien

non dimensional untuk friksi dasar, dan τ_{xx} , τ_{xy} , τ_{yx} , τ_{yy} adalah tegangan turbulen horizontal.

3. PEMODELAN NUMERIK

Simulasi numerik dengan model SWASH ini menggunakan grid persegi dengan ukuran grid 3,7 m dan satu *layer* pada arah vertikal dengan *time step* 0,1 detik. Area yang dijadikan *domain* sepanjang 1,4 km pada arah *x* dengan jumlah grid 200 sel dan sepanjang 1,7 km pada arah *y* dengan jumlah grid 236 sel (**Gambar 1**). Sebuah gelombang monokromatik bergerak dari arah selatan menuju utara dengan tinggi gelombang 1,5 meter dan periode gelombang 10 detik. Kekasaran friksi dasar diasumsikan seragam pada seluruh domain, dengan koefisien Manning 0,012. Jenis sedimen diasumsikan pasir.



Gambar 1. Batimetri Teluk Pelabuhan Ratu (dalam meter)

4. HASIL ANALISIS

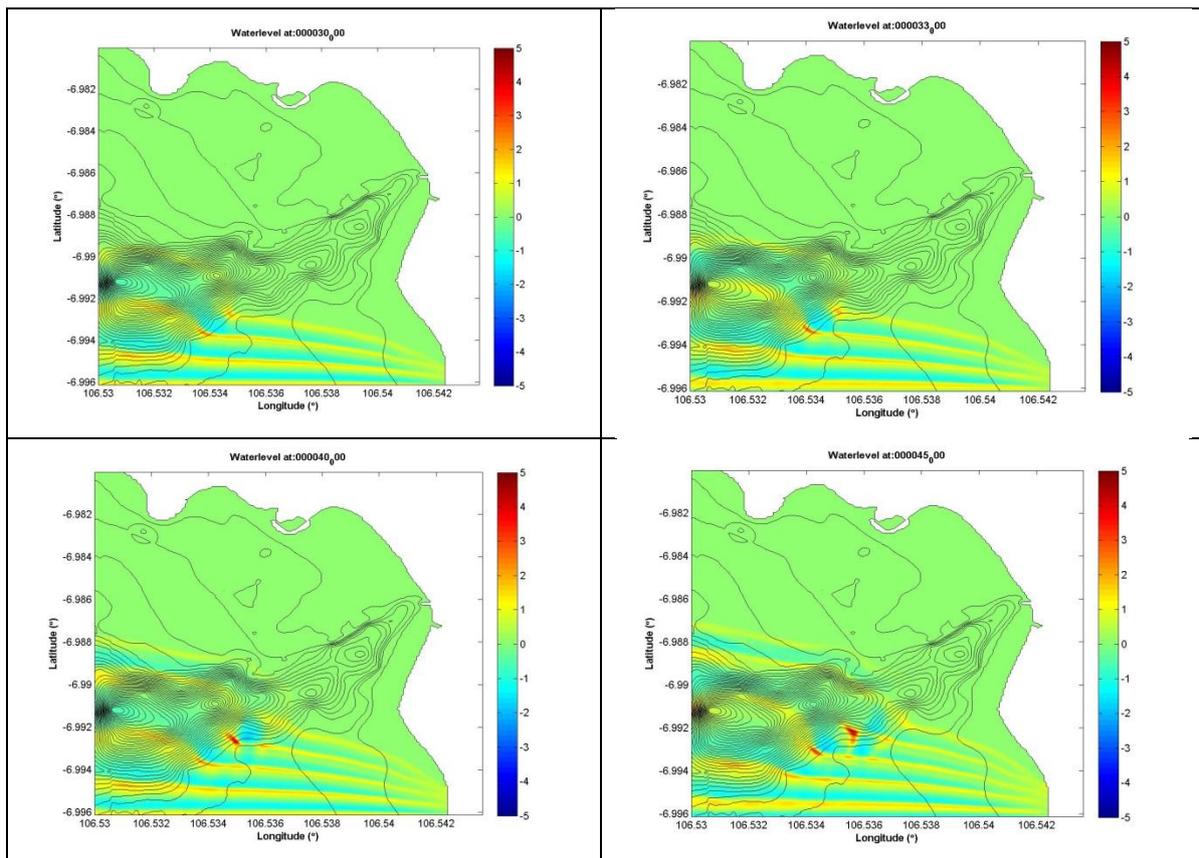
Hasil analisis numerik menunjukkan transformasi gelombang, yaitu refraksi, refleksi, interferensi dan *shoaling*. Gelombang monokromatik datang dari arah selatan, dalam perjalanannya menuju pantai gelombang melalui beberapa kedalaman. Gelombang sisi timur melewati kedalaman 5 meter sementara gelombang sisi barat melewati kedalaman lebih dari 20 meter. Gelombang akan bergerak lebih cepat pada sisi barat karena kedalaman di daerah ini berkisar antara 20 meter hingga 175 meter. Gradasi warna menunjukkan variasi ketinggian muka air, warna biru -6 meter dan warna merah +5 meter dari MAT (**Gambar 2**).

Setelah simulasi 45 detik, gelombang yang melewati batimetri ekstrim akan mengalami refraksi ke arah timur. Di arah timur ini, gelombang memasuki kedalaman yang lebih dangkal sehingga terjadi proses *shoaling*. Gelombang yang memasuki perairan dangkal kecepatan rambat gelombangnya akan lebih lambat dan panjang gelombang akan lebih pendek. Karena fluks energi harus konstan, proses melambatnya kecepatan rambat dan memendeknya panjang gelombang akan dikompensasi dengan kenaikan tinggi gelombang (**Gambar 3**). Pada **Gambar 3** ini terlihat simulasi mulai dari menit ke-45 detik hingga menit ke-40. Gelombang pada arah timur ini bertemu dengan gelombang yang bergerak dari arah

selatan ke utara. Interferensi gelombang membuat tinggi muka air hingga 4,2 m di titik $(x=72, y=186)$ terlihat di **Gambar 4**.

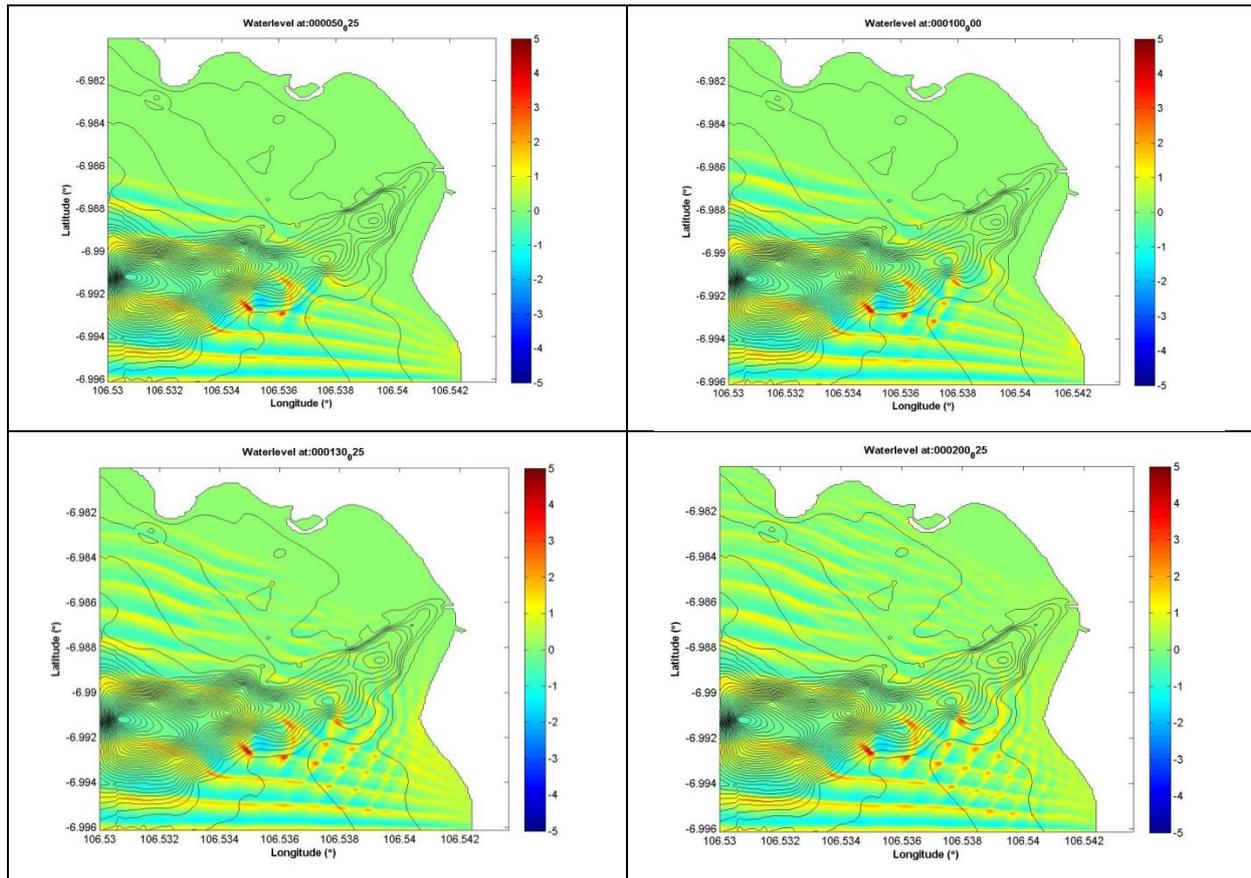
Transformasi gelombang pada $y=186$ menunjukkan interferensi gelombang dari arah selatan dan refraksi gelombang dari arah barat. Gelombang pada titik $(72, 186)$ tidak pecah karena pada titik tersebut tidak memenuhi kondisi gelombang pecah (**Gambar 5**). Pada **Gambar 5** ini sumbu x menyatakan grid sedangkan sumbu y adalah ketinggian muka air. Berdasarkan kriteria geometrik, gelombang akan pecah jika tercapai kondisi kecuraman gelombang maksimum $(ak)_{max} = \frac{\pi}{7}$ (Longuet-Higgins, 1985). Transformasi gelombang pada $y=186$ ini ditunjukkan pada **Gambar 5**, terlihat bahwa mulai dari proses refraksi hingga terjadinya interferensi gelombang, gelombang yang mencapai 4,2 meter tersebut tidak mengalami kondisi gelombang pecah.

Gelombang mencapai garis pantai setelah simulasi 4 menit dan terpantulkan karena pantai diasumsikan sebagai dinding. Pada simulasi 10 menit tinggi muka air pada koordinat $(106,5343^\circ\text{BT}; -6,9931^\circ\text{LS})$ dengan sudut $37,51$ derajat mencapai 4,4 meter (**Gambar 6**). Gelombang yang sangat tinggi ini dicapai dalam waktu singkat akibat proses refraksi, interferensi dan refleksi. Pada (**Gambar 7**) terlihat proses tersebut dan perbandingannya dengan profil batimetri. Model numerik SWASH pada menit ke-40 waktu simulasi masih tetap stabil (**Gambar 8**).

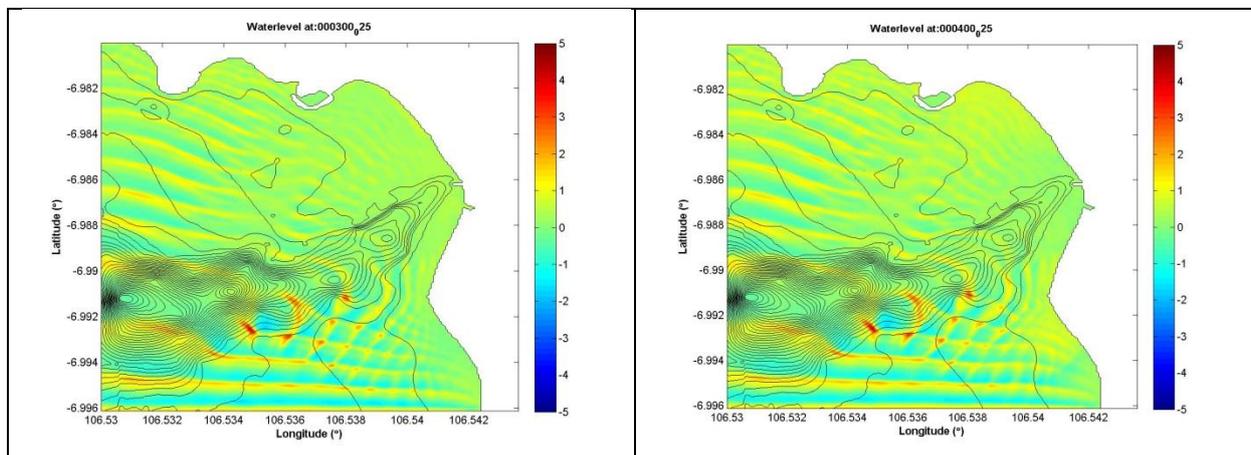


Gambar 2. Transformasi gelombang pada waktu simulasi $t = 30$ sampai 45 detik Gelombang datang dari selatan dengan periode 10 detik dan tinggi gelombang 1,5 m

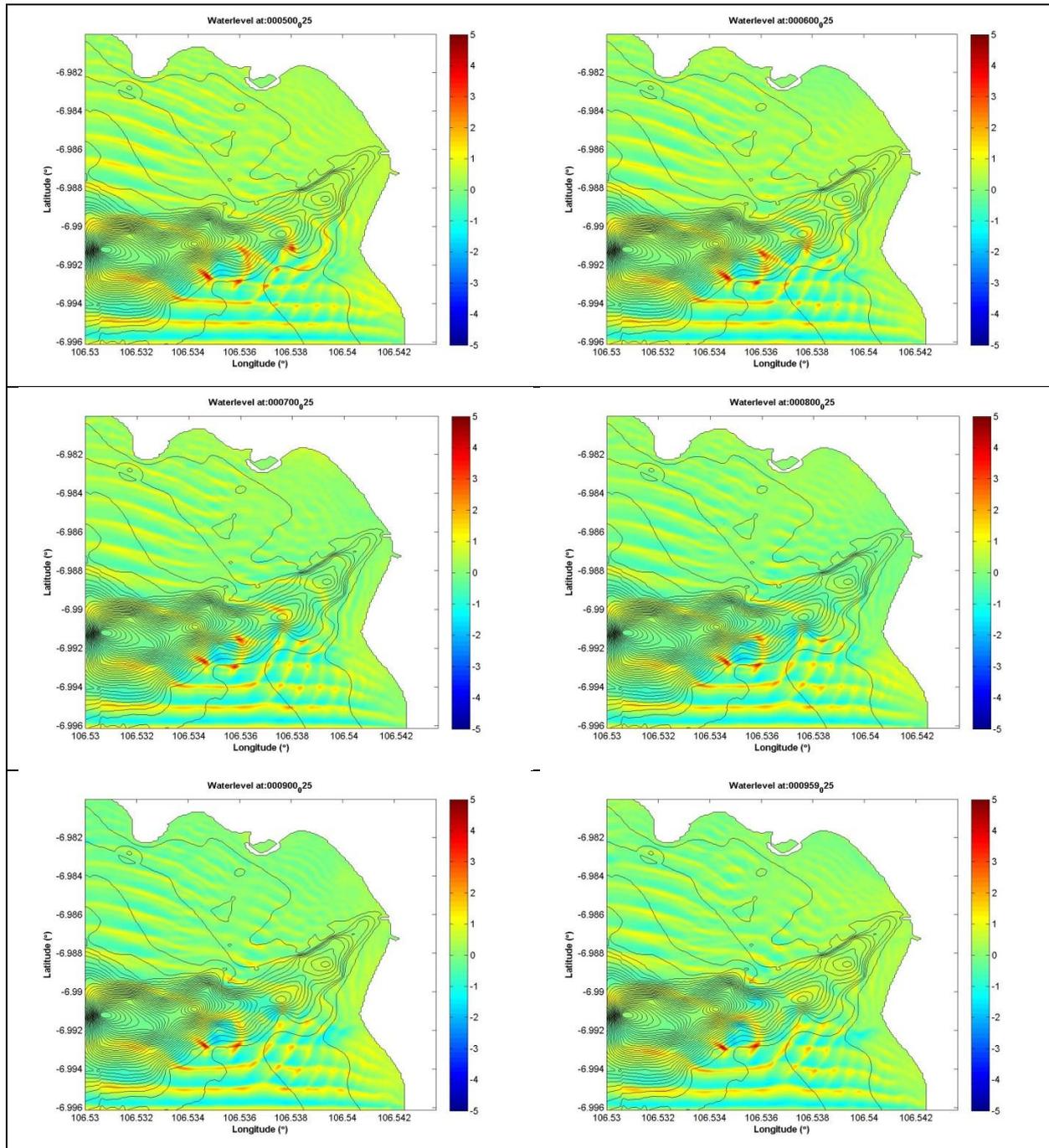
Transformasi Gelombang pada Batimetri Ekstrim dengan Model Numerik SWASH



Gambar 3. Transformasi gelombang pada waktu simulasi $t = 30$ sampai 45 detik lanjutan Gelombang datang dari selatan dengan periode 10 detik dan tinggi gelombang 1,5 m

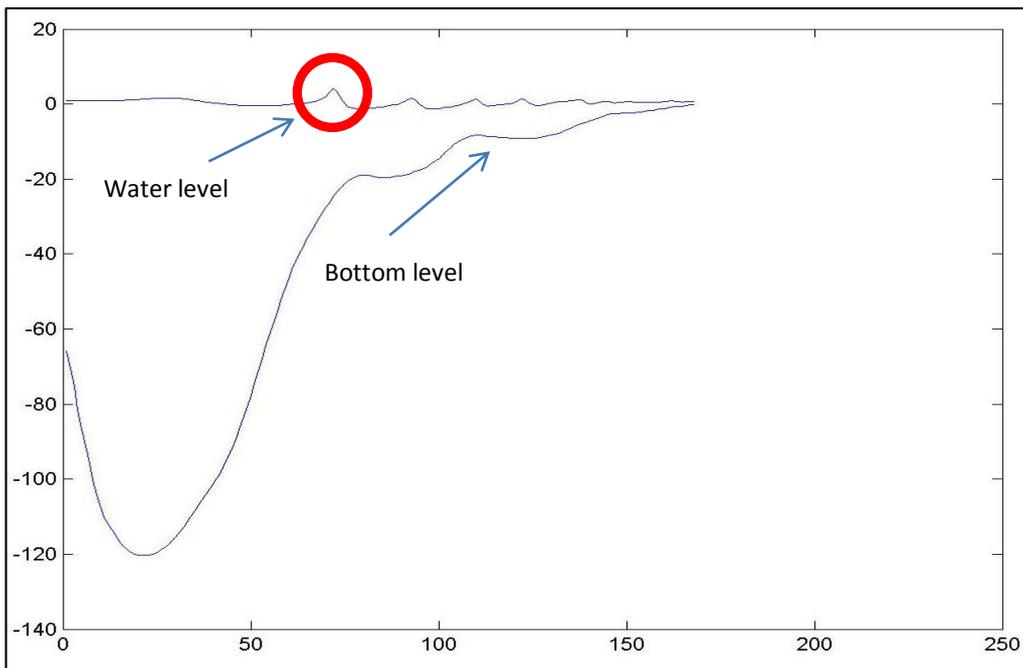


Gambar 3. Transformasi gelombang pada waktu simulasi $t = 50$ sampai $t = 40$ menit Gelombang datang dari selatan dengan periode 10 detik dan tinggi gelombang 1,5 m

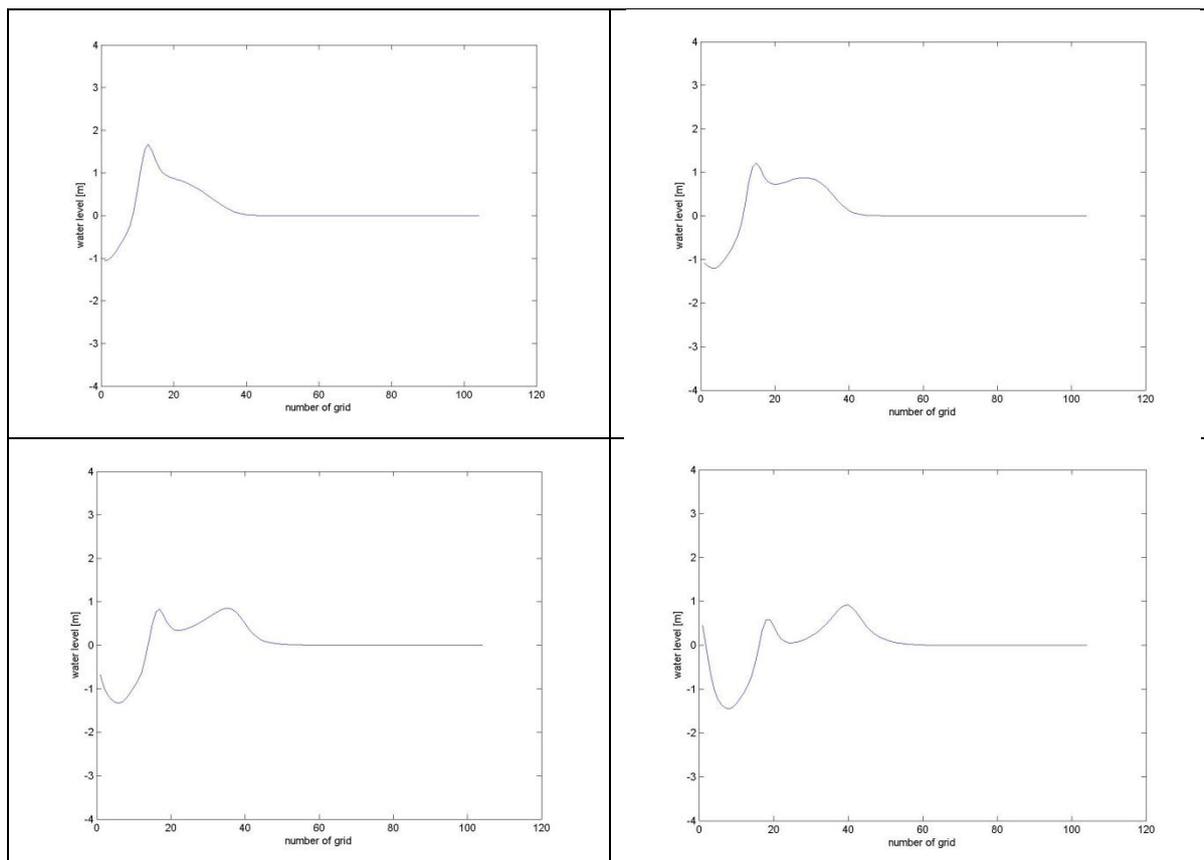


**Gambar 3. Transformasi gelombang pada waktu simulasi $t = 50$ sampai $t = 40$ menit lanjutan
Gelombang datang dari selatan dengan periode 10 detik dan tinggi gelombang 1,5 m**

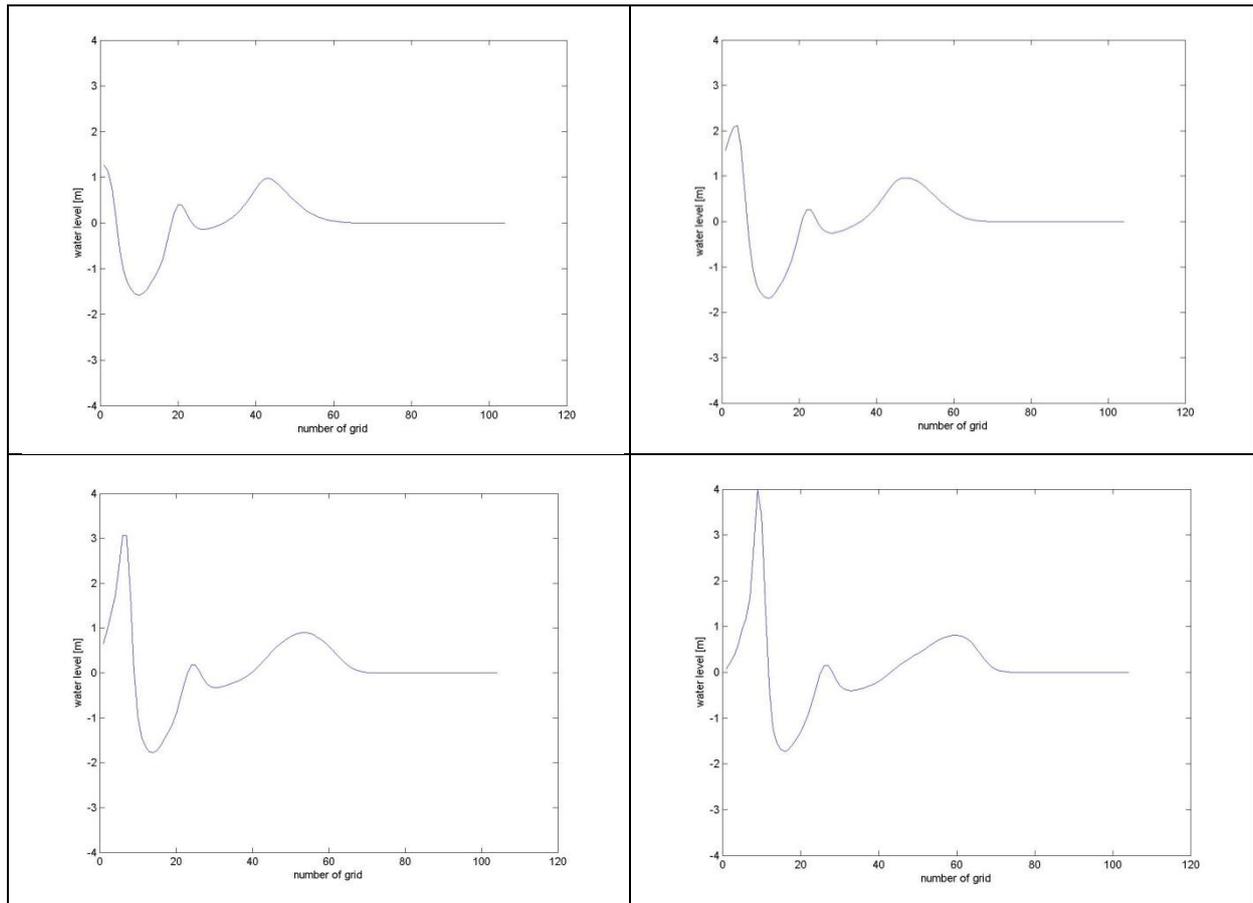
Transformasi Gelombang pada Batimetri Ekstrim dengan Model Numerik SWASH



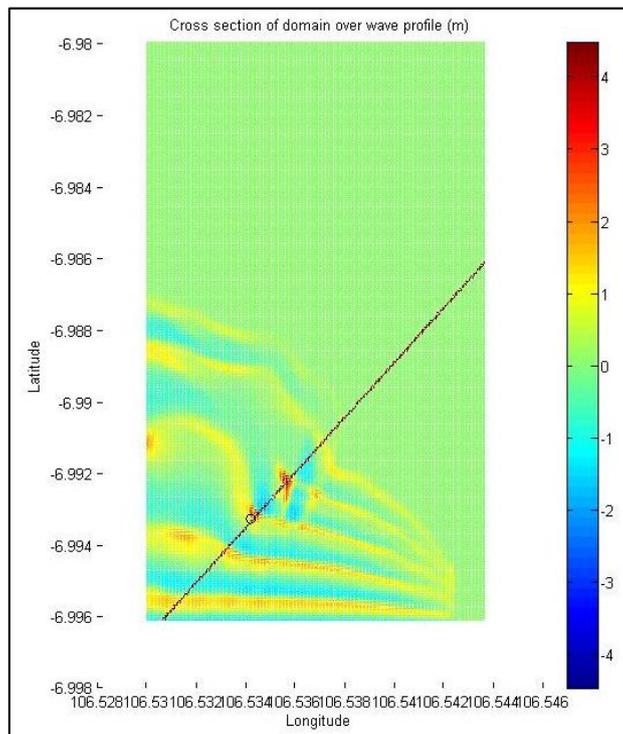
Gambar 4. Interferensi gelombang dan batimetri ekstrim pada garis grid $y=186$



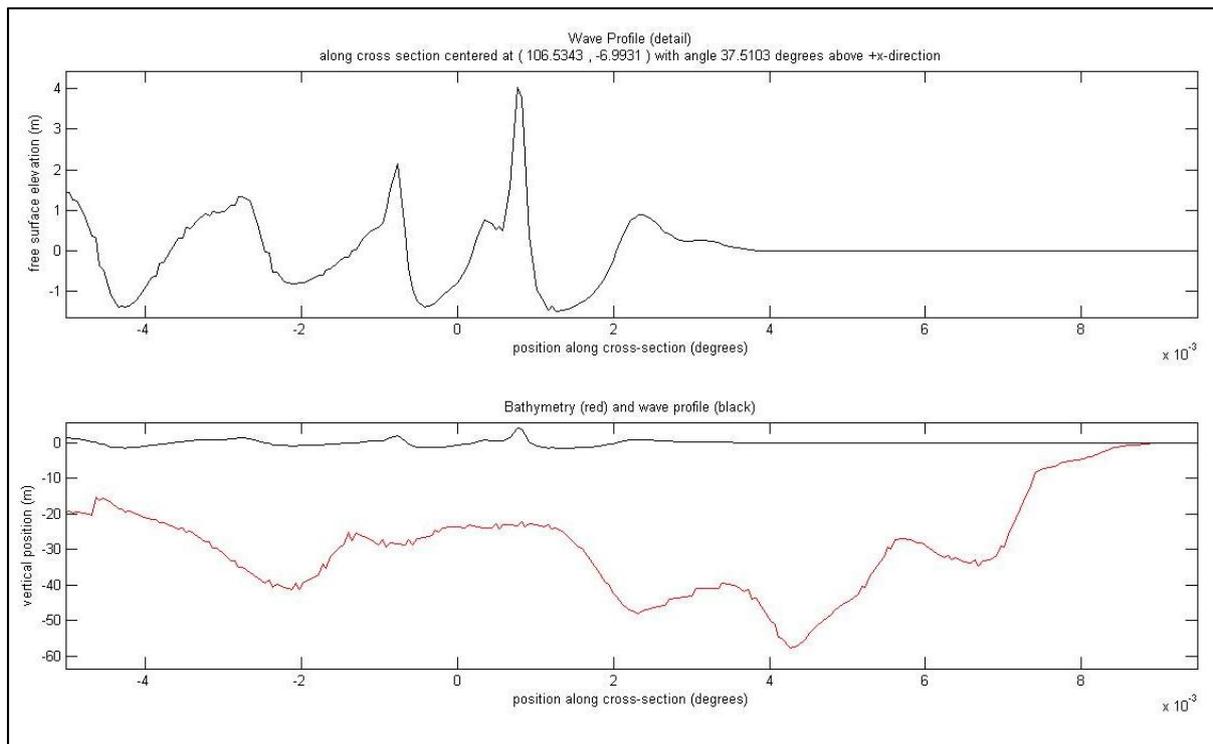
Gambar 5. Profil gelombang pada transformasi gelombang di potongan garis grid $y=186$



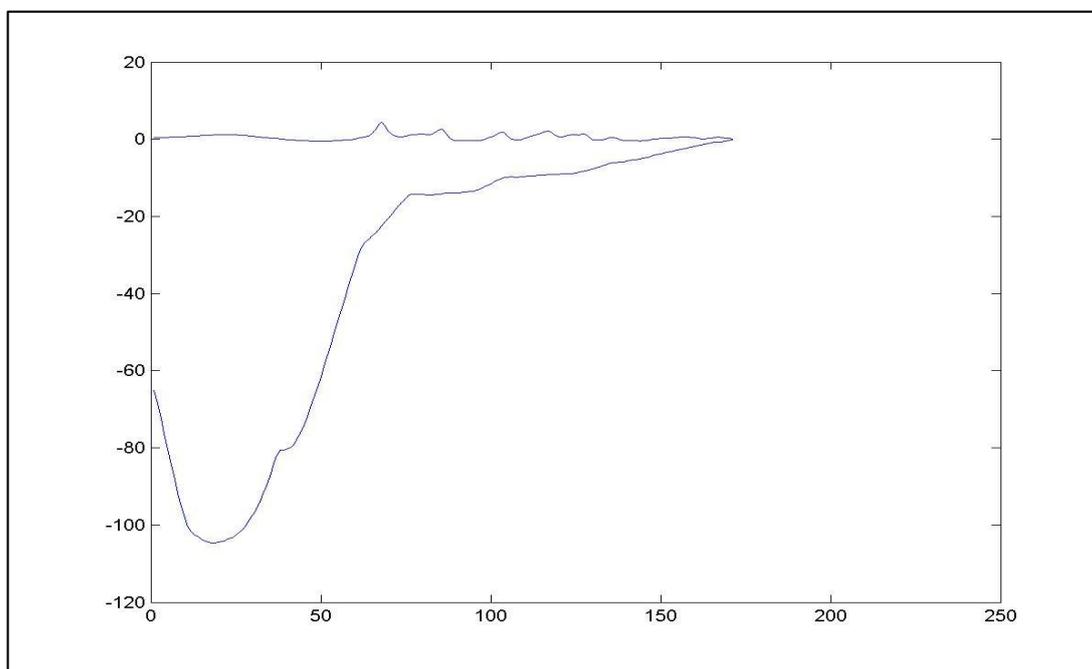
Gambar 6. Profil gelombang pada transformasi gelombang di potongan garis grid $y=186$ lanjutan



Gambar 7. Potongan melintang pada koordinat (106,5343°BT; -6,9931°LS) dengan sudut 37,51 derajat



**Gambar 8. Profil gelombang pada simulasi menit ke-40
Potongan melintang pada koordinat (106,5343°BT; -6,9931°LS)
dengan sudut 37,51 derajat**



**Gambar 9. Transformasi gelombang pada koordinat (106,5343°BT; -6,9931°LS)
dengan sudut 37,51 derajat diwaktu simulasi ke-40 menit**

4. KESIMPULAN

Kemampuan model numerik SWASH untuk mensimulasikan transformasi gelombang pada batimetri ekstrim telah diuji pada penelitian ini. Walaupun penelitian ini terbatas pada 2

dimensi horisontal (2DH) dengan gelombang monokromatik, tetapi model numerik ini mampu memodelkan karakteristik transformasi gelombang seperti proses refraksi, *shoaling*, refleksi dan interferensi. Pada kasus batimetri kompleks di daerah Teluk Pelabuhan Ratu, dapat diketahui pula bahwa proses refraksi merupakan proses yang sangat signifikan dalam transformasi gelombang. Hal yang dapat dikembangkan dari penelitian ini adalah validasi data gelombang, pada penelitian ini tidak dilakukan validasi karena lebih fokus pada pengujian kestabilan model numerik. Untuk penelitian kedepannya, perlu dicari data gelombang ekstrim pada koordinat yang telah dikaji pada penelitian ini.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih pada PUSHIDROSAL untuk data batimetri Teluk Pelabuhan Ratu.

DAFTAR RUJUKAN

- Booij, N., Holthuijsen, L. H. and R. C. Ris. (1996). The SWAN wave model for shallow water. *25th Int. Conf. Coastal Engng.*, (Vol. 1, pp. 668-676). Orlando, USA.
- Longuet-Higgins, M. S. (1985). Accelerations in steep gravity waves, *J. Phys. Oceanogr.*, *15*, 1570–1579
- Zijlema, M., Stelling, G. and Smit, P. (2011). SWASH: An operational public domain code for simulating wave fields and rapidly varied flows in coastal waters. *Coast. Engng.*, *58*, 992-1012.