

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia adalah negara kepulauan yang terletak pada jalur Cincin Api Pasifik (*Pacific Ring of Fire*), yang merupakan zona pertemuan tiga lempeng tektonik utama dunia: Eurasia, Indo-Australia, dan Pasifik. Posisi geografis ini mengakibatkan Indonesia memiliki tingkat aktivitas seismik yang sangat tinggi, sehingga menjadi salah satu wilayah paling rawan terhadap bencana gempa bumi dan tsunami [1]. Secara khusus, wilayah pesisir barat Pulau Sumatera berhadapan langsung dengan zona subduksi, yang menjadi penyebab utama munculnya tsunami besar, di mana terjadinya gempa bawah laut akibat pergerakan lempeng Indo-Australia ke bawah lempeng Eurasia [2].

Data mengenai dampak dari perambatan gelombang tsunami terhadap garis pantai yang tidak memiliki sistem perlindungan yang memadai sudah banyak terdokumentasikan. Peristiwa tsunami Samudera Hindia pada 26 Desember 2004, yang dipicu oleh gempa bumi berkekuatan 9,1 Mw menjadi salah satu bukti dampak perambatan gelombang tsunami. Gelombang tsunami dengan ketinggian lebih dari 30 meter di beberapa wilayah ini menimbulkan banyak kerugian [3], yang termasuk di Indonesia dengan 173.741 korban jiwa berdasarkan laporan *International Federation of Red Cross and*

Red Crescent Societies (IFRC). Energi gelombang tsunami yang merambat tanpa hambatan signifikan di lautan terbuka menjadi gelombang destruktif yang memberikan kerusakan substansial di Aceh, dan negara-negara sekitar. Bencana ini memperlihatkan bahwa ancaman bencana tsunami merupakan isu krusial, sehingga diperlukan upaya serius dalam hal perencanaan mitigasi.

Selain itu, kejadian tsunami Kepulauan Mentawai pada 25 Oktober 2010 memperlihatkan bahwa pesisir barat Sumatera, termasuk Provinsi Sumatera Barat, merupakan wilayah dengan ancaman bencana tsunami. Gempa dengan pelepasan energi lambat dan dangkal berkekuatan 7,7 Mw menghasilkan tsunami dengan ketinggian 3-9 meter, lebih besar dari yang diperkirakan berdasarkan magnitudo gempanya [4]. Kedua peristiwa di atas menunjukkan bagaimana perambatan gelombang tsunami tanpa hambatan dapat menimbulkan efek destruktif yang luar biasa, terutama pada wilayah pesisir yang tidak memiliki perlindungan fisik.

Akibat dari peristiwa di atas memperlihatkan bahwa upaya mitigasi struktural pada wilayah pesisir yang rentan perlu dilakukan, melalui hambatan-hambatan fisik dalam mengurangi energi gelombang tsunami sebelum mencapai daratan. Mitigasi struktural adalah serangkaian upaya fisik dan teknis untuk mengurangi risiko dan dampak bencana. Salah satu mitigasi struktural adalah pembangunan struktur pertahanan pesisir seperti pemecah gelombang (*breakwater*). Beberapa pelindung alami seperti pulau-pulau kecil dan terumbu karang merupakan dasar dari pembentukan *breakwater*. *Breakwater* adalah struktur buatan yang ditempatkan di perairan dangkal

untuk mengurangi amplitudo dan energi gelombang sebelum mencapai daratan [5]. *Breakwater* biasanya dibangun dari bahan berat seperti batu atau beton dan dirancang untuk menyerap serta memecah gelombang sehingga mengurangi amplitudo dan daya rusak gelombang pada garis pantai [6]. Pada konteks tsunami, *breakwater* dapat bertindak sebagai penghalang buatan yang menurunkan amplitudo serta energi gelombang, sehingga mengurangi potensi kerusakan di wilayah pesisir.

Efektivitas dari *breakwater* untuk mereduksi energi gelombang dalam melindungi wilayah pesisir sudah dibuktikan melalui berbagai penelitian. Magdalena dkk.[7] menggunakan model *Shallow Water Equations* (SWE) untuk menganalisis *breakwater* terendam berbentuk persegi panjang. Penelitian tersebut mengonfirmasi bahwa ketinggian *breakwater* memiliki peran penting dalam menurunkan amplitudo gelombang. Selanjutnya, penelitian oleh Arifin [8] melalui simulasi numerik metode beda hingga pada model SWE, juga membuktikan bahwa keberadaan penghalang fisik secara signifikan mampu memecah dan mengurangi kekuatan gelombang tsunami.

Gelombang tsunami merupakan serangkaian gelombang yang memiliki amplitudo sangat besar. Menurut Synolakis [9], tsunami termasuk dalam kategori gelombang panjang karena panjang gelombangnya yang berkisar antara 100 hingga 500 kilometer jauh lebih besar dari kedalaman laut yang hanya berkisar 4 kilometer. Secara matematis, perambatan gelombang panjang dapat direpresentasikan menggunakan model *Shallow Water Equations*.

Pendekatan analisis numerik pada model SWE dapat memodelkan interaksi gelombang dengan struktur pertahanan pesisir. Hal ini dapat memberikan pemahaman yang lebih mendalam mengenai dinamika dan efektivitas strategi tersebut. Penelitian oleh Flouri dkk.[10] menggunakan metode numerik yakni metode beda hingga dengan skema Godunov pada model SWE dua dimensi (2D) yang memperhatikan topografi yang kemudian disimulasikan untuk kasus gelombang tsunami. Penelitian lain yang mengkaji analisis numerik dengan metode beda hingga pada model SWE adalah penelitian oleh Saiduzzman dkk.[11] dan Crowhurst [12].

Pada penelitian Saiduzzman dkk.[11] dilakukan perbandingan metode beda hingga dengan beberapa skema seperti Lax-Friedrichs, Lax-Wendroff, dan Leap-Frog. Hasil menunjukkan bahwa error yang diperoleh dari simulasi numerik skema Lax-Wendroff lebih kecil dibandingkan dua skema numerik lainnya, menunjukkan skema Lax-Wendroff lebih efisien dibandingkan dengan dua skema lain. Sedangkan pada penelitian oleh Crowhurst [12], membahas penyelesaian numerik model SWE 1D menggunakan metode beda hingga dengan skema beda maju (*forward difference*) untuk waktu dan skema beda pusat (*central difference*) untuk ruang. Hasil menunjukkan bahwa metode ini mampu menghasilkan profil gelombang dengan baik, meskipun akurasi menurun pada puncak gelombang untuk waktu yang lebih panjang.

Penelitian lain pada tahun 2019 oleh Setiyowati dan Sumardi [13] menggunakan metode volume hingga skema Lax-Friedrichs untuk simulasi numerik pada model SWE 1D dan 2D . Selanjutnya pada tahun 2021,

Setiyowati dan Riestiana [14] mengkonstruksi ulang model SWE 1D untuk kasus topografi tidak datar, serta melakukan simulasi numerik menggunakan metode beda hingga skema Lax-Friedrichs untuk melihat hubungan antara nilai awal amplitudo gelombang dan fungsi topografi terhadap tinggi gelombang yang dihasilkan.

Analisis numerik kejadian bencana tsunami lebih baik dilakukan dengan mempertimbangkan waktu dan biaya penelitian jika dilakukan secara langsung atau melalui laboratorium. Selain itu, penyelesaian analitik yang cukup sulit untuk ditentukan menjadikan skema numerik dapat dilakukan karena dapat menghampiri solusi analitiknya dengan baik. Oleh karena itu, pada penelitian ini model SWE 1D yang merujuk pada model Magdalena dkk. [7] akan digunakan untuk mensimulasikan perambatan gelombang tsunami dengan kasus adanya interaksi breakwater. Analisa numerik akan menggunakan metode elemen hingga (*Finite Element Method*) yang diterapkan pada model. Selanjutnya akan dilakukan simulasi numerik dengan skenario topografi datar pada model SWE 1D.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, permasalahan yang akan dikaji pada penelitian ini adalah:

1. Bagaimana mengimplementasikan formulasi analisis numerik menggunakan metode elemen hingga pada model SWE 1D dengan interaksi *breakwater*?

2. Bagaimana simulasi numerik dari model SWE 1D dengan interaksi breakwater menggunakan metode elemen hingga?
3. Bagaimana perbandingan nilai koefisien transmisi untuk solusi numerik dan solusi analitik?

1.3 Batasan Masalah

Penelitian ini dibatasi pada simulasi numerik menggunakan metode elemen hingga pada model SWE 1D dengan skenario topografi datar dengan hambatan berupa *breakwater* berbentuk persegi panjang.

1.4 Tujuan Penulisan

Berdasarkan permasalahan di atas, maka tujuan dari penulisan penelitian ini adalah:

1. Mengimplementasikan formulasi analisis numerik menggunakan metode elemen hingga pada model SWE 1D dengan interaksi *breakwater*.
2. Melakukan simulasi numerik pada model SWE 1D dengan metode elemen hingga
3. Melakukan perbandingan nilai koefisien transmisi untuk solusi numerik dan solusi analitik.

1.5 Sistematika Penulisan

Penulisan penelitian ini terdiri dari empat bab. Bab I pendahuluan, yang memuat latar belakang, rumusan masalah, tujuan penulisan, dan sistematika penulisan. Bab II landasan teori, yang berisi tentang materi dasar dan materi pendukung yang berkaitan dengan topik. Bab III pembahasan, yang memuat model SWE 1D dengan interaksi breakwater, penurunan solusi analitik serta model numerik, dan simulasi numerik pengaruh variasi panjang breakwater terhadap nilai koefisien transmisi. Bab IV penutup, yang memuat kesimpulan dari masalah penelitian yang telah diperoleh dari bab sebelumnya dan saran untuk penelitian selanjutnya.

