

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Air adalah senyawa yang penting bagi kehidupan. Manusia membutuhkan air untuk konsumsi. Tumbuhan membutuhkan air untuk proses fotosintesis. Energi yang dibawa oleh aliran air, juga dapat digunakan sebagai pembangkit listrik. Hingga saat ini, terdapat banyak bendungan yang memanfaatkan aliran air sebagai penggerak generator. Sistem irigasi, berupa saluran atau selokan, dirancang sedemikian rupa agar air dapat dialirkan menuju lahan-lahan pertanian secara efektif. Secara langsung ataupun tidak langsung, dalam skala yang kecil ataupun besar, air sangat penting untuk menunjang keberlangsungan hidup manusia.

Air tidak hanya memberikan manfaat. Pada kondisi tertentu air dapat memberi dampak yang merugikan, berupa bencana hidrologi seperti banjir, tsunami, bendungan bobol, dan gelombang pasang. Bencana banjir dapat diakibatkan oleh pasang air laut, luapan air sungai, ataupun guyuran air hujan berkepanjangan, yang mengalir dan menggenangi daratan. Bencana tsunami dapat dipicu oleh gempa bawah laut, letusan gunung bawah laut, longsor bawah laut, atau hantaman meteor di laut. Sementara bendungan atau tanggul bobol, dapat disebabkan oleh kegagalan arsitektur, pembangunan, pemeliharaan, ataupun faktor-faktor alam seperti longsor dan gempa bumi. Adapun, gelombang pasang muncul akibat pengaruh gaya gravitasi bulan dan matahari. Gelombang pasang yang terlalu besar, juga dapat menimbulkan ancaman kerusakan lingkungan dan infrastruktur.

Tsunami diawali dengan adanya gelombang kejut akibat proses pelepasan energi tumbukan/pergeseran lempeng bumi. Gelombang ini akan merambat dengan kecepatan tinggi dan panjang gelombang hingga ratusan kilometer. Di tengah laut, ketinggian gelombang ini relatif kecil. Namun, semakin dekat dengan daratan, panjang dan kecepatan gelombang akan semakin berkurang, dan ketinggian air justru semakin bertambah. Hingga mencapai pantai, gelombang ini cukup berbahaya karena membawa energi yang cukup besar. Energi ini mampu menerjang

segala bentuk benda, serta mengakibatkan kerusakan yang parah. Lebih lagi, gelombang ini tidak hanya datang sekali saja, namun dapat berkali-kali. Usaha untuk menghentikan gelombang ini sebanding dengan ketinggian dan besarnya kecepatan gelombang.

Pada bendungan/tanggul yang bobol, genangan air yang berbentuk lompatan hidrolik (*hydraulic jump*), akan menciptakan gelombang kejut. Gelombang inilah yang akan merambat dan mengakibatkan kerusakan. Lompatan hidrolik dapat bersifat stasioner, contohnya yang dapat terjadi pada aliran air tanggul. Jika air telah melebihi kapasitas, maka air akan meluap dan mengalir melewati batas dinding tanggul, hingga membentuk suatu lompatan. Namun, lompatan stasioner ini tidak akan berpindah, dan hanya terjadi di sekitar dinding tanggul (Gambar 1.1). Sementara itu, lompatan hidrolik yang bersifat dinamis, artinya lompatan tersebut bergerak mengikuti arah perambatan gelombang, contohnya adalah gelombang tidal.



Gambar 1.1. Lompatan hidrolik pada Bendungan Burdekin, Australia.

Sumber: Bloom, 2011. Gambar telah di olah kembali.

Gelombang tidal merupakan gelombang pasang yang muncul akibat pengaruh gaya gravitasi bulan dan matahari. Asumsi dasar pada teori gelombang tidal yaitu panjang gelombang jauh lebih besar dibandingkan dengan kedalaman

laut. Pergerakan partikel air berarah horizontal, dan kecepatan vertikal dapat diabaikan (Officer, 1974). *Tidal bore* merupakan salah satu jenis gelombang tidal, yaitu lompatan hidrolis yang terjadi di muara sungai berupa gelombang pasang yang merambat berlawanan arah (*upstream*) dengan arah normal aliran air dari hulu ke hilir (Furgetot, et al., 2016).

Bencana hidrologi telah menyebabkan banyak korban. Sejarah bencana banjir terburuk, tercatat pada tahun 1931. Kala itu, banjir akibat luapan sungai Yangtze di Cina memakan korban hingga 3,7 juta jiwa (Staff, 2009). Sementara itu, salah satu dampak tsunami terparah pada beberapa dekade terakhir, terjadi di Jepang pada tahun 2011. Tsunami yang dipicu oleh gempa terbesar ke empat di dunia berkekuatan 9,0 skala Richter ini, menyebabkan 15.890 korban meninggal, 2.590 jiwa hilang, serta 6.152 terluka di dua belas prefektur Jepang (NOAA, 2015). Gambar 1.2 memperlihatkan suasana kerusakan pasca gempa dan tsunami, berupa lautan puing. Terlihat, masih ada beberapa bangunan yang dapat bertahan, namun dengan kondisi yang rusak. Bahkan sebuah kapal pun terhempas hingga ke atas sebuah gedung akibat terjangan gelombang tsunami.



Gambar 1.2. Tsunami menghempaskan sebuah kapal hingga berada di atas sebuah bangunan di tengah puing-puing di Otsuchi, Prefektur Iwate, Jepang, 14 Maret.

Sumber: Shimbun, 2011.

Zoppou menyatakan (Zoppou & Roberts, 2000), bahwa selama abad ke-20, terdapat lebih dari 200 tanggul dengan ketinggian lebih dari lima belas meter yang runtuh, mengakibatkan kerugian hingga jutaan dollar, serta memakan lebih dari 8.000 korban jiwa. Sementara itu, untuk gelombang pasang, tercatat, *tidal bore* sungai Qiantang merupakan gelombang tidal sungai terbesar di dunia. Tingginya mencapai 4 meter, lebar hingga 3 km, dan kecepatannya lebih dari 30 km/jam (Lautrup, 2011). Gambar 1.3 menunjukkan foto para penonton yang sedang menyaksikan fenomena *tidal bore* di Sungai Qiantang. Karena terlalu besar, gelombang ini mencapai kerumunan dan menghanyutkan beberapa orang. Sebanyak dua puluh orang dilaporkan terluka (Kaushik, 2014).



Gambar 1.3. *Tidal bore* Sungai Qiantang menerjang para penonton.

Sumber: Kaushik, 2014.

Berdasarkan data INFORM (Index for Risk Management), Indonesia termasuk daerah rawan bencana, dengan indeks ancaman bencana alam sebesar 7,4 (INFORM, 2016). Hingga tahun 2016 (BNPB, 2016), tercatat lebih dari 192 ribu orang meninggal karena banjir, longsor, gempa dan tsunami, serta gelombang pasang. Total pengungsi mencapai lebih dari 6,3 juta orang, dengan lebih dari 240 ribu korban luka. Selebihnya sekitar 17 ribu jiwa dinyatakan hilang. Untuk

kerusakan infrastruktur dan bangunan, tercatat sekitar 748 ribu rumah, 14 ribu fasilitas pendidikan, kesehatan, peribadatan, dan 105 ribu km jalan, serta 1,8 juta hektar lahan, rusak.

Uraian sebelumnya menggambarkan betapa besarnya dampak dari bencana hidrologi. Bencana ini membawa pengaruh besar bagi kehidupan individu maupun sosial, bagi ketahanan nasional dan kestabilan ekonomi suatu negara. Sebagai evaluasi, perlu dilakukan antisipasi terhadap berbagai bencana yang mungkin terjadi. Beberapa hal yang menjadi fokus perhatian yaitu meninjau sejauh mana peluang keselamatan publik, dan memprediksi seberapa besar kerusakan yang mungkin terjadi akibat bencana tersebut. Solusi nyata dapat dilakukan dengan cara membangun sistem peringatan dini terhadap bencana, serta menciptakan model dan simulasi untuk mempelajari aliran air. Fenomena aliran air perlu dipelajari untuk mendapatkan pemahaman dan analisa teknis yang lebih baik guna mengantisipasi dampak dari kekuatan gelombang air.

Fenomena aliran air dapat dipelajari melalui percobaan eksperimental ataupun dengan model dan simulasi gelombang air. Namun, percobaan eksperimental memiliki keterbatasan. Untuk menciptakan berbagai variasi kondisi, bentuk dan batas-batas ruang eksperimen, menggunakan percobaan eksperimental akan membutuhkan biaya yang besar. Sebagai alternatifnya, dapat digunakan model dan simulasi gelombang air berbasis komputer sains. Manfaat yang didapat dari model dan simulasi ini yaitu lebih hemat biaya dan bisa memprediksi dalam skala yang lebih luas. Selain itu, arah dan pergerakan aliran air dapat diprediksi, serta kekuatan gelombang air yang menghantam suatu objek/benda dapat diukur dengan lebih fleksibel.

Model dan simulasi gelombang air dapat dijadikan dasar analisis teknis, untuk menangani dan mengantisipasi bencana hidrologi. Misalnya, simulasi dapat membantu dalam perancangan sistem saluran air, irigasi, sanitasi dan drainase pada perencanaan tata ruang kota/pemukiman yang bebas banjir. Simulasi dapat membantu dalam perancangan bentuk dan struktur bangunan dalam air, misalnya pilar jembatan, bendungan, ataupun gedung-gedung di atas air. Simulasi juga dapat

membantu dalam perancangan sistem tembok penghalang tsunami dan pemecah gelombang.

Untuk memodelkan gelombang air, digunakan persamaan matematika yaitu *persamaan air dangkal* (Shallow Water Equation). Persamaan ini telah banyak dipakai untuk memodelkan aliran gelombang di atmosfer dan permukaan air, seperti sungai, danau, laut, serta gelombang gravitasi dalam domain yang lebih kecil, misalnya gelombang permukaan dalam bak mandi. Persamaan air dangkal merupakan persamaan diferensial parsial hiperbolik dan nonlinear, sehingga dibutuhkan metode numerik dalam penyelesaiannya.

Metode *finite volume* adalah salah satu metode numerik yang dapat digunakan untuk menyelesaikan persamaan diferensial parsial. Metode inilah yang dipilih untuk mensimulasikan gelombang air. Dibandingkan dengan metode lain seperti *finite different*, *finite volume* memiliki beberapa kelebihan, yaitu metode ini didasarkan pada pengintegralan bentuk hukum konservatif, sehingga ideal untuk memodelkan kasus yang mengandung diskontinuitas, seperti gelombang kejut, termasuk lompatan hidrolis. Selain itu, diskritisasi spasial pada metode ini dapat diimplementasikan menggunakan *mesh* segitiga tidak terstruktur, artinya dapat digunakan untuk membentuk *boundary* pembatas yang fleksibel (tidak harus kotak).

Dalam simulasi, terdapat batas-batas ruang simulasi (domain). Isi ruang didiskritisasi dalam bentuk *mesh*, dan disimpan dalam matriks/array untuk proses komputasi. Bentuk dan kerapatan *mesh* ini akan berpengaruh terhadap performa dan kualitas simulasi. Semakin besar ruang simulasi dan semakin rapat *meshing* yang diinginkan, maka jumlah elemen matriks/array yang diperlukan juga semakin besar, sehingga jumlah data yang harus diolah dalam proses komputasi pun semakin besar. Hal ini menimbulkan permasalahan yaitu semakin bertambahnya pula beban dan waktu komputasi. Pada awalnya, teknologi komputasi yang digunakan untuk mengolah data dalam jumlah yang besar hanya memanfaatkan CPU, *multithread* CPU, ataupun paralel/*cluster* CPU. Namun, saat ini ada teknologi baru untuk meraih performa yang optimal, yaitu dengan memanfaatkan keunggulan GPU.

Di mulai sejak tahun 2000-an, perkembangan teknologi komputasi telah mengarah pada penggunaan GPU sebagai akselerator. Muncul paradigma baru dalam dunia komputasi, yaitu pemrograman paralel berbasis GPU (Graphic Processing Unit). Artinya, proses komputasi paralel sudah dapat memanfaatkan kartu grafis GPU dengan keunggulan yaitu terdiri dari banyak *core* (hingga ribuan), sehingga terdapat banyak *thread* yang dapat dijalankan secara serentak. Hal ini berbeda dengan komputasi paralel yang hanya memanfaatkan *multithreading* pada CPU dengan sedikit *core*, sehingga jumlah *thread*-nya pun sedikit. Semakin banyak *thread* yang berjalan serentak, maka akan semakin banyak data yang dapat diolah dalam satu waktu, sehingga secara keseluruhan beban dan waktu komputasi dapat dikurangi.

Pemanfaatan GPU merupakan solusi terbaru untuk mengoptimalkan pemrosesan data-data dalam jumlah besar, termasuk pemrosesan data dalam simulasi. Salah satu vendor yang memproduksi GPU, NVIDIA, menyediakan bahasa CUDA yang mampu manajemen arsitektur heterogen antara CPU dengan GPU. Bahasa CUDA ini merupakan ekstensi dari bahasa C, dan menjadi bahasa tingkat tinggi untuk pemrograman paralel yang mudah dimengerti.

Bagian terpenting simulasi adalah penyelesaian numerik dalam bentuk perhitungan. Perhitungan ini dilakukan secara iteratif. Setiap langkah perhitungan akan menghasilkan bilangan-bilangan hasil simulasi. Agar simulasi terlihat nyata dan dapat diamati, maka nilai bilangan-bilangan ini harus ditampilkan secara visual (visualisasi). Bilangan-bilangan ini sendiri dapat merepresentasikan posisi suatu entitas pada ruang geometri. Pada kasus gelombang air, bilangan-bilangan ini menunjukkan ketinggian elemen-elemen pada permukaan air. Dengan memanfaatkan teknologi komputasi grafis terbaru, proses visualisasi dapat diprogram menggunakan pustaka OpenGL, dengan *shader* (GLSL) dan fitur VBO (Vertex Buffer Object). Persamaan gelombang air dangkal dapat berbentuk satu atau dua dimensi. Persamaan satu dimensi dapat divisualisasikan dengan grafis dua dimensi, sementara persamaan dua dimensi dapat divisualisasikan dengan grafis tiga dimensi.

Melihat permasalahan yang ada, membuat model dan simulasi gelombang air dengan metode *finite volume* berbasis pemrograman paralel GPU CUDA, menjadi tantangan tersendiri. Terlebih di Indonesia, belum ada penelitian mendalam mengenai topik ini. Beberapa perangkat lunak seperti ANUGA, buatan ANU (Australian National University) bekerja sama dengan Geoscience Australia, adalah salah satu contoh perangkat lunak yang dapat mensimulasikan gelombang air dengan metode *finite volume*, namun tanpa menggunakan GPU.

1.2. Perumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang, maka yang menjadi rumusan masalah adalah sebagai berikut.

1. Bagaimana memodelkan dan mensimulasikan gelombang air dengan metode *finite volume* pada *mesh* segitiga tidak terstruktur?
2. Bagaimana mempercepat dan mengoptimalkan proses simulasi gelombang air menggunakan komputasi paralel berbasis GPU CUDA?
3. Bagaimana visualisasi grafis gelombang air dalam tiga dimensi?

1.3. Batasan Masalah

Batasan-batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Air (fluida) dianggap homogen, tanpa viskositas, efek Coriolis, friksi, maupun variasi temperatur.
2. Tidak ada topografi dasar dan dataran kering dalam simulasi. Semua domain dikondisikan terisi air, dan memiliki dasar yang ketinggiannya sama rata.

1.4. Tujuan Penelitian

Penelitian ini memiliki tujuan sebagai berikut.

1. Memodelkan dan mensimulasikan gelombang air dengan metode *finite volume* pada *mesh* tidak terstruktur.
2. Membandingkan performa kecepatan antara simulasi gelombang air yang berbasis GPU dan CPU.
3. Menyajikan visualisasi grafis gelombang air dalam tiga dimensi.

1.5. Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan tugas akhir ini secara garis besar diuraikan sebagai berikut.

BAB 1 : PENDAHULUAN

Bab ini menjabarkan tentang latar belakang masalah, perumusan masalah, batasan, masalah, tujuan penelitian, dan sistematika penulisan.

BAB 2 : TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisi tinjauan atas penelitian-penelitian terdahulu, untuk membandingkan dan menimbang seberapa orisinil dan penting, penelitian yang akan dilakukan.

BAB 3 : LANDASAN TEORI

Bab ini menjabarkan tentang teori-teori yang relevan yang digunakan sebagai dasar untuk menyelesaikan permasalahan pada penelitian ini, seperti simulasi gelombang air, persamaan air dangkal, diskritisasi, metode *finite volume*, komputasi paralel GPU CUDA, OpenGL.

BAB 4 : METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini menjabarkan tentang alat dan bahan serta langkah-langkah penelitian.

BAB 5 : HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini menjabarkan pembahasan hasil model dan simulasi gelombang air, perbandingan kecepatan komputasi antara CPU dan GPU, serta hasil validasi simulasi gelombang air.

BAB 6 : KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisi kesimpulan dari hasil penelitian yang dilakukan, serta saran.