Sertifikat

SENTIKA 2013

http://fti.uajy.ac.id/sentika

Diberikan kepada : **Pranowo**

Atas peran sertanya sebagai : **Peserta**

Dalam Seminar Nasional Teknologi Informasi dan Komunikasi SENTIKA tahun 2013 pada tanggal 9 Maret 2013

bertempat di Universitas Atma Jaya Yogyakarta

Yogyakarta, 9 Maret 2013

Dekan
Fakultas Teknologi Industri

Ir. B. Kristyanto, M.Eng., Ph.D

Ketua Panitia
SENTIKA 2013

Thomas Adi Purnomo S, S.T., M.T.

MODEL 2D VISUALISASI TSUNAMI ACEH DENGAN METODE LATTICE BOLTZMANN

Nazaruddin Ahmad[1], Pranowo[2]
[1]*Program Studi Teknik Informatika, Fakultas Teknik Informatika, Universitas Jabal Ghafur Sigli*
Jl. Glee Gapui Sigli – Aceh
E-mail : nazar.ahmadhb@gmail.com
[2]*Program Studi Teknik Informatika, Fakultas Teknik Industri, Universitas Atma Jaya Yogyakarta*
Jl. Babarsari 43 Yogyakarta 55281
Email : pran@staff.uajy.ac.id

ABSTRACT
This paper discusses the single-phase fluid flow using the Lattice Boltzmann method. Lattice Boltzmann method is easy to use and implement for problems compressible and incompressible fluid flow. This method was developed from the Navier-Stokes equation which is the basic equation for fluid simulation. In the Lattice Boltzmann method there are three important components such as density, velocity and pressure. Fluid simulation tsunami wave propagation can be done with this method. The process of numerical fluid simulations using the C language plus the OpenGL graphics library. The image area of Banda Aceh tsunami ever be used as a visualization of the results of the tsunami wave propagation. Visualization can also be used for other areas that are considered possible tsunami, so that can know the pattern waves propagation.

Keywords: Fluida, Navier-Stokes, Lattice Boltzmann, density, velocity, tsunami, OpenGL

ABSTRAK
Paper ini membahas aliran fluida fase tunggal menggunakan metode Lattice Boltzmann. Metode Lattice Boltzmann mudah digunakan dan diimplementasikan untuk masalah aliran fluida compressible dan incompressible . Metode ini dikembangkan dari persamman Navier-Stokes yang merupakan persamaan dasar untuk fluida. Pada metode Lattice Boltzmann menyimpan beberapa komponen penting seperti density, velocity dan pressure. Simulasi fluida perambatan gelombang tsunami dapat dilakukan dengan metode ini. Proses simulasi numerik fluida menggunakan bahasa C ditambah dengan library grafik OpenGL. Citra wilayah Banda Aceh yang pernah terjadi tsunami digunakan sebagai hasil visualisasi perambatan gelombang tsunami. Visualisasi ini juga dapat digunakan untuk wilayah lain yang dianggap mungkin terjadi tsunami, sehingga dapat diketahui pola perambatan gelombang air laut.

Kata Kunci: Fluida, Navier-Stokes, Lattice Boltzmann, density, velocity, tsunami, OpenGL

1. PENDAHULUAN

Perkembangan Teknologi Informasi yang sangat cepat membuat kita harus mampu menyesuaikan diri dengan baik. Tidak saja digunakan untuk sistem informasi yang bisa digunakan sebagai pengambilan keputusan, tetapi dalam hal teknis, teknologi informasi dapat digunakan sebagai alat untuk menganalisa secara matematis. Persoalan matematis dapat diselesaikan secara analitik sehingga hasil yang diberikan mendekati kepada nilai kebenaran, dan itu sudah dapat diterima didalam bidang akademis.

Persamaan fluida yang digunakan dalam perhitungan matematis adalah persamaan *Navier-Stokes*. Metode yang dikembangkan dengan persamaan *Navier-Stokes* ini adalah metode *Lattice Boltzmann*. Metode ini dikembangkan menjadi sebuah alternatif dan menghasilkan skema numeric untuk mensimulasikan aliran fluida viskositas dan aliran multi-fase. Keuntungan dari metode *Lattice Boltzmann* adalah kesederhanaan algoritma, keakuratan dalam perhitungan kekekalan massa dan momentum dan kesesuaian untuk komputasi parallel (Moriyama,2011).

Penyelesaian model-model dalam pemecahan masalah-masalah fluida dengan pendekatan numerik dapat memberikan efesiensi waktu dalam kegiatan perencanaan, analisa mengenai kasu-kasus yang berkaitan dengan aliran fluida (Geveler, 2010).

Gelombang tsunami disebabkan oleh deformasi vertikal air. Deformasi dapat disebabkan oleh gempa bumi, letusa gunung berapi, tanah longsor dan meteor yang jatuh ke laut. Tsunami dapat dikategorikan sebagai gelombang panjang. Penjalaran gelombang selalu menjadi bagian yang menarik dalam pemodelan. Model numerik dapat digunakan untuk memperkirakan jarak gelombang banjir dan memberikan informasi tentang daerah banjir. Oleh karena itu, model penjalaran gelombang tsunami sangat berguna untuk sistem peringatan awal dan perencanaan evakuasi daerah beresiko tinggi tsunami (Kusuma, 2008).

Tujuan dari penulisan ini untuk mendapatkan model numeric untuk kasus aliran fluida sederhana

pada perambatan gelombang air laut yang diasumsikan sebagai gelombang tsunami menggunakan metode *Lattice Boltzmann*.

Ruang lingup dalam penulisan ini adalah mencakup mengenai penerapan model metode *Lattice Boltzmann* pada aliran fluida sederhana yang merambat pada suatu wilayah tertentu. Wilayah yang digunakan dalam penulisan penelitian ini adalah wilayah Banda Aceh dan sekitarnya menggunakan kontur peta.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Tsunami

Tsunami terjadi dapat disebabkan adanya aktivitas di dalam kerak bumi yang disebut gempa. Ledakan tambang yang berada di dekat pantai atau uji coba nuklir dapat juga menyebabkan tsunami. Pergeseran yang terjadi di bawah dasar laut menyebabkan perpindahan volume air laut yang menghasilkan gelombang yang bergerak cepat. Gelombang ini menyebar ke segala arah dengan kecepatan yang menakjubkan sekitar 800 km/jam. Seperti gelombang lainnya, ketika gelombang tsunami memasuki air dangkal, maka kecepatannya akan menurun tetapi ketinggiannya bertambah tinggi karena terjadi penumpukan masa air (Ramya dan Palaniappan, 2011).

Metode beda hingga digunakan oleh Kusuma (2008) untuk melakukan simulasi tsunami Aceh menggunakan model St.Venant. Citra yang digunakan diambil dari satelit *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM). Metode ini digunakan mampu mengatasi ketidakstabilan numeric karena topografi dan peta batimetri yang kompleks.

Penjalaran tsunami dalam bentuk 3 dimensi yang dikembangkan oleh Marghany (2008) yang mendapatkan citra dari satelit QukiBird. Menggunakan transformasi Fourier 2 dimensi untuk mendapatkan spectrum gelombang. Persamaan metode hingga Galerkin memberikan hasil yang akuran untuk simulasi penjalaran tsunami 3 dimensi.

2.2 Lattice Boltzmann untuk Air Dangkal

Perairan dangkal adalah perairan yang mempunyai *surface* (batas permukaan) dan *bottom* (batas dasar). Teori perairan dangkal digunakan dalam pemodelan tsunami secara numerik.

Menurut Thurey (2006) bahwa persamaan air dangkal biasanya digunakan untuk mensimulasikan gelombang yang panjang gelombangnya mirip dengan ketinggian air secara keseluruhan. Dalam hal ini kecepatan propagasi gelombang untuk semua amplitude adalah konstan. Simulasi air dangkal juga bisa dibentuk dengan menggunakan persamaan *Lattice Boltzmann.* Tidak hanya mempertimbangkan tekanan fluida, tetapi nilai ketinggian dihitung untuk setiap sel.

2.3 Segmentasi Citra

Segmentasi merupakan proses membagi wilayah-wilayah tertentu yang ingin ditonjolkan dari sebuah citra. Para ahli komputer vision menggunakan metode segmentasi citra untuk melakukan penelitian pengolahan citra.

Menurut Huang (2009), untuk mendapatkan bentuk dari suatu citra, dilakukan proses segmentasi citra menggunakan metode level set. Posisi dan ukuran wilayah yang telah ter-segmentasi akan dihitung dan ditetapkan model bentuk citra sehingga mendapatkan hasil yang lebih baik.

Menurut Mansouri dan Djafari (2010), metode *Level Set* digunakan untuk menyelidiki representasi baru dari partisi domain citra melalui beberapa tahap melalui korespondensi yang eksplisit antara daerah segmentasi.

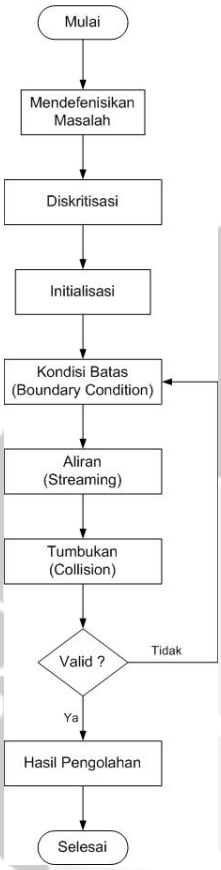
3. METODOLOGI PENELITIAN

Penulisan ini akan memberikan visualisasi perambatan gelombang air yang diasumsikan sebagai gelombang tsunami dalam bentuk 2-dimensi.

Dalam penelitian aliran fluida yang dilakukan, tentu membutuhkan langkah-langkah penelitian, sehingga penelitian ini berjalan dengan benar. Dapat dilihat pada gambar 1di bawah ini :

Gambar 1. Bagan Alir Visualisasi Tsunami

Dalam pembuatan model visualisasi tsunami, penelitian ini mengikuti bagan alir seperti pada gambar 2 berikut :



Gambar 2. Bagan Alir Metode *Lattice Boltzmann*

4. PEMBAHASAN

4.1 Pengolahan Citra

Citra yang digunakan dalam penelitian ini adalah citra peta wilayah tsunami Banda Aceh. Peta ini digunakan sebagai model citra untuk perambatan gelombang tsunami. Peta yang digunakan seperti gambar 3 di bawah ini :

Gambar 3. Peta Wilayah Aceh

Gambar peta diatas mengalami proses pengolahan secara manual untuk digunakan dalam proses pengolahan citra, sehingga hasil pengolahan citra terhadap peta tersebut digunakan sebagai model peta dalam visualisasi simulasi tsunami. Hasil pengolahan akan disimpan dalam sebuah file dengan ekstensi PNG (map.png).

Gambar 4. Peta Hasil Pengolahan Dengan Paint

4.1.1 Pengambangan

Langkah selanjutnya adalah melakukan proses pengambangan (*thresholding*) terhadap citra. Hal ini dilakukan untuk mendapat citra biner (*binary image*) dari citra. Menurut Putra (2010), pengambangan (*thresholding*) merupakan proses pemisahan piksel-piksel berdasarkan derajat keabuan yang dimilikinya. Piksel yang memiliki derajat keabuan lebih kecil dari nilai batas yang ditentukan akan diberikan nilai 0, sementara piksel yang memiliki derajat keabuan yang lebih besar dari batas akan diubah menjadi nilai 1. Secara sederhana *thresholding* digunakan untuk menghilangkan informasi citra yang memiliki derajat keabuan dibawah nilai *threshold* (T) yang ditentukan. Bentuk persamaan untuk menentukan tingkat keabuan sebagai berikut :

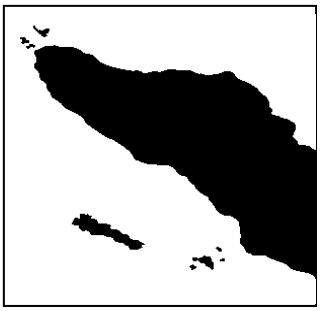
$$g(x,y)=\begin{cases} Ia & jika \quad f(x,y)\le T \\ Ib & jika \quad f(x,y>T \end{cases} \qquad (1)$$

Algoritma menentukan nilai piksel citra 0 dan 1 seperti gambar 9 berikut :

```
1. Baca file citra
2. Tentukan nilai awal baris dan maksimal
3. Tentukan nilai awal kolom dan maksimal
4. Jika citra awal lebih kecil atau sama dengan T maka jalankan
   perintah 5
5. Citra baru = 0
6. Jika citra awal lebih besar dari T maka jalankan
   perintah 7
7. Citra baru = 1
8. Simpan citra baru
```

Gambar 5. Algoritma Menentukan Nilai Piksel

Hasil proses algoritma diatas dapat dilihat seperti gambar 6 di bawah ini :



Gambar 6. Hasil *Threshold* Citra Peta

4.1.2 Citra Biner (*Binary Image*)

Konversi dari citra hitam-putih ke citra biner dilakukan dengan operasi operasi pengambangan (*thresholding*). Citra biner (*binary image*) adalah citra yang hanya mempunyai dua nilai derajat keabuan, yaitu hitam dan putih. Walaupun saat ini citra berwarna lebih disukai karena memberi kesan lebih kaya daripada citra biner, tetapi tidak membuat citra biner mati. Piksel-piksel objek bernilai 1 dan piksel-piksel latar belakang bernilai 0.

Pada pemodelan simulasi tsunami ini, peta yang sudah di-*threshold* selanjutnya akan dikonversi ke dalam citra biner. Citra biner ini nantinya akan digunakan di dalam visualisasi model perambatan gelombang tsunami. Proses konversi ini juga menggunakan perangkat lunak MATLAB, hasilnya dapat kita lihat seperti gambar 7 dibawah ini :

(a) (b)

Gambar 7. (a) Citra hitam-putih
(b) Representasi Biner dari Citra hitam-putih

Dengan menggunakan MATLAB, piksel-piksel citra biner tersebut disimpan kedalam file dengan ekstensi .DAT atau .TXT dengan format ASCII supaya dapat dipanggil kembali untuk digunakan.

4.2 Metode Lattice Boltzmann

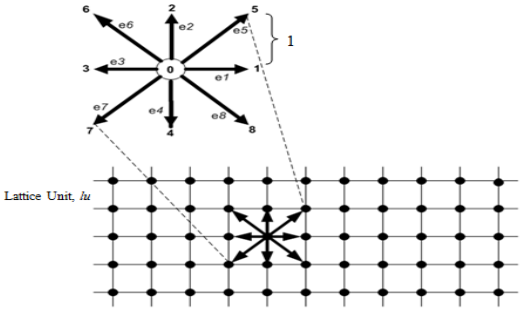
4.2.1 Aliran Fase-Tunggal

Aliran fase-tunggal biasanya mewakili gerak fluida (gas atau cair) dalam domain bersama dengan gerakan beberapa bidang kepadatan partikel tersuspensi dalam cairan. Dalam penelitian ini, gerak fluida yang digunakan adalah fase cair, tidak menggunakan gerak gas, simulasi ini mengabaikan fase gas.

Simulasi yang dihasilkan dalam penelitian ini adalah simulasi aliran fase-tunggal dua dimensi (2-D), maka akan digunakan model D2Q9 dari sel *lattice* dan dilihat dari sisi akurasi dan kemampuan komputasi dari simulasi yang ingin dihasilkan.

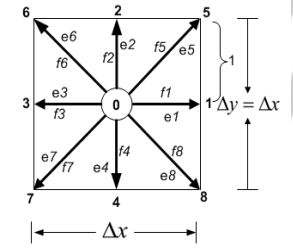
4.2.2 Model D2Q9

Lattice Boltzmann memodelkan fluida yang tak mampu-mampat (*incompressible)* dimana partikel fluida hanya dapat bergerak searah dengan vektor kecepatan *lattice*. Menurut Almalowi (2012), satu sel model D2Q9 yang menyatakan jumlah dimensi 2 dan memiliki 9 arah kecepatan *lattice*, yang menunjukkan kartesian *lattice* dan kecepatan e_a dimana a = 0, 1, ...,8 adalah indeks arah dan $e_0 = 0$ yang menunjukkan partikel saat diam. Setiap sisi dari sel memiliki panjang 1. Unit *lattice (lu)* adalah ukuran panjang dalam Metode Lattice Boltzmann dan selisih waktu (*ts)* adalah unit waktu.



Gambar 8. Model D2Q9 Arah dan Kecepatan
(Sumber: Tubbs, 2010)

Di dalam proses simulasi, semua sel harus menyimpan informasi partikel yang bergerak menurut arah masing-masing vektor kecepatan dan fungsi distribusi partikel. Fungsi ini dinotasikan dengan f_i di mana nilai *i* menunjukkan nomor vektor *lattice*. Pada gambar 2.2 terdapat susunan fungsi f_i yaitu $f_0, f_1, f_2, f_3, f_4, f_5, f_6, f_7, f_8$. Vektor dengan nomor 0 mempunyai panjang 0 dan menyimpan jumlah partikel yang berhenti di sel berikutnya. Partikel ini tidak akan bergerak kemana-mana di langkah waktu berikutnya, tetapi beberapa diantaranya mungkin akan dipercepat (bergerak) karena tumbukan dengan partikel lain, jadi jumlah partikel yang diam bisa saja berubah.



Gambar 9. Fungsi Distribusi f_i Model D2Q9

Dari gambar 9 diatas, kita juga dapat mendefinisikan sembilan kecepatan e_i dalam model D2Q9 yang didefinisikan sebagai berikut :

$e_0 = (0,0).c$, $e_1 = (1,0).c$, $e_2 = (0,1).c$,
$e_3 = (-1,0).c$, $e_4 = (0,-1).c$, $e_5 = (1,1).c$,
$e_6 = (-1,1).c$, $e_7 = (-1,-1).c$, $e_8 = (1,-1).c$,

atau bisa juga didefinisikan sebagai berikut :

$e_0 = (0,0).c$, $e_{1,3} = (\pm1,0).c$,
$e_{2,4} = (0,\pm1).c$, $e_{5,6,7,8} = (\pm1, \pm1).c$

dimana $c = \Delta x/\Delta t = \Delta y/\Delta t$. Disini, Δt digunakan untuk melihat selisih waktu (*ts*) untuk menghitung jarak gerak antar partikel. Setiap arah memiliki

bobot, bobot arah tersebut adalah $w_0 = 4/9$, $w_{1,2,3,4} = 1/9$, $w_{5,6,7,8} = 1/36$. Dalam bentuk persamaan dapat ditulis sebagai berikut :

$$w_i = \begin{cases} \frac{4}{9}, i = 0, \\ \frac{1}{9}, i = 1,2,3,4, \\ \frac{1}{36}, i = 5,6,7,8 \end{cases} \quad (2)$$

dapat juga ditulis dengan persamaan :

$$\sum_{i=o}^{\beta-1} w_i = 1 \quad (3)$$

4.2.3 Kondisi Batas

Kondisi batas atau kondisi awal sangat penting untuk metode komputasi fluida dinamis. Dalam simulasi *lattice boltzmann*, fungsi distribusi partikel merupakan variabel yang utama. Dengan demikian tekanan, kecepatan, variabel makroskopik ditentukan oleh operasi pada fungsi distribusi partikel.

Variabel makroskopik didefenisikan sebagai fungsi dari fungsi distribusi partikel. Persamaannya dapat dilihat sebagai berikut :

Makroskopik densitas fluida (*density*):

$$\rho = \sum_{i=0}^{\beta-1} f_i \quad (4)$$

Makroskopik kecepatan (*velocity*):

$$\vec{u} = \frac{1}{\rho} \sum_{i=0}^{\beta-1} f_i \vec{e}_i \quad (5)$$

Secara numerik LBM dapat dituliskan dalam persamaan aliran (*streaming*) dan tumbukan (*collision*) dalam waktu *t* sebagai berikut :

Streaming

$$f_i^t(x,t) = f_i(x + e_i, t+1) \quad (6)$$

Collision

$$f_i^t(x,t) = f_i(x,t) - \frac{fi(x,t) - f_i^{eq}(x,t)}{\tau} \quad (7)$$

Jika digabungkan persamaan (6) dan persamaan (7) maka diperoleh persamaan disktrit Lattice Boltzmann :

$$f_i(x + e_i, t+1) - f_i(x,t) = -\frac{1}{\tau}(fi(x,t) - f_i^{eq}(x,t)) \quad (8)$$

dimana $\omega = \frac{1}{\tau}$, koefesien ω dinamakan frekuensi tumbukan dan τ dinamakan faktor relaksasi. Fungsi kesetimbangan distribusi lokal dilambangkan dengan f^{eq} yang merupakan fungsi distribusi equilibrium (distribusi Maxwell-Boltzmann).

Kepadatan dari sel dilambangkan dengan rho (ρ) dan vektor kecepatan dilambangkan dengan $\vec{u}$ = (u_1, u_2). Vektor kecepatan dari lattice adalah vektor $\vec{e}_{0..8}$, masing-masing mempunyai bobot w_i. Untuk tahap tumbukan nilai kesetimbangan fungsi distribusi perlu dihitung dari kepadatan ($h = \rho$) dan kecepatan :

$$f_i^{eq} = \begin{cases} h(1 - \frac{5gh}{6e^2} - \frac{2}{3e^2} u_i . u_i) \\ h(\frac{gh}{6e^2} + \frac{e_i u_i}{3e^2} + \frac{e_j u_j}{2e^4} - \frac{u_i u_i}{6e^2}) \\ h(\frac{gh}{24e^2} + \frac{e_i u_i}{12e^2} + \frac{e_j u_j}{8e^4} - \frac{u_i u_i}{24e^2}) \end{cases} \quad (9)$$

5. HASIL

Uji coba dilakukan dengan menjalankan program beberapa kali dengan batasan iterasi yang ditentukan. Batas iterasi perlu ditentukan agar program tidak berjalan selamanya. Dengan adanya batas iterasi akan dapat dilihat visualisasi perambatan gelombang.

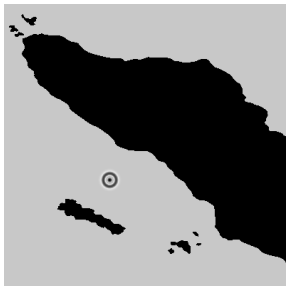
Perangkat lunak yang digunakan untuk menuliskan kode program adalah Microsoft Visual C++ ditambah dengan library openGL untuk menampilkan hasil visualisasi.

Citra biner yang sudah kita dapat, kita masukkan ke dalam program, algoritma untuk memasukkan citra biner seperti gambar 10 berikut :

```
1. Tentukan matriks citra biner
2. Baca file citra biner
3. Tentukan nilai awal kolom
4. Tentukan nilai awal baris
5. Tentukan nilai citra biner yang ingin
   ditampilkan
6. Jika citra biner bernilai 0 maka
   jalankan perintah 7
7. Baris dan kolom sama dengan solid
8. Jika citra biner bernilai 1 maka
   jalankan perintah 9
9. Baris dan kolom tidak sama dengan solid
```

Gambar 10. Algoritma Input Citra Biner

Percobaan dilakukan dengan menentukan ukuran yang digunakan *ni x nj= 400 x 400*, *tau = 0.5, gr = 0.5, hout = 1.0*, dengan jumlah interasi yang berbeda.

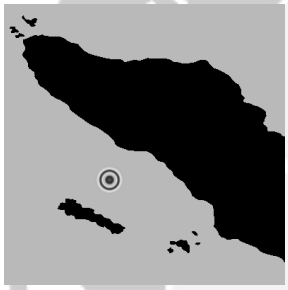


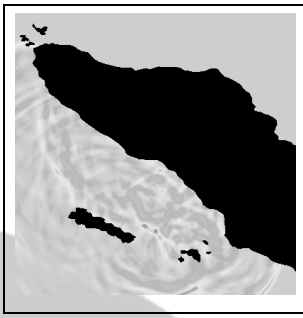
Gambar 11. Visualisasi Dengan Iterasi = 10

Tepi pada citra peta yang digunakan diasumsikan sebagai tepi daratan, sehingga gelombang yang menyentuh tepi citra akan merambat, tidak akan melewati citra. Dengan merambatnya gelombang pada tepi tepi citra akan merubah pola penjalaran gelombang.

Kita menentukan kondisi solid = 0 sebagai daratan dan solid = 1 sebagai laut (fluida). Setiap node-node yang diisi oleh citra dijadikan solid sehingga gelombang akan merambat dan memantul dan ini dikenal dengan istilah *bounce-back*.

Berikut ini adalah urutan gambar visualisasi perambatan gelombang tsunami di perairan Aceh menggunakan bahasa C dengan menggunakan library grafik OpenGL. Sumber gempa berupa sumber titik yang berada di tengah laut sehingga akan terjadi gelombang yang menuju topografi peta yang diasumsikan arah pinggir pantai.

Gambar Visualisasi	Jumlah iterasi
	Iterasi = 15
	Iterasi = 60
	Iterasi = 80
	Iterasi = 150



Iterasi = 350

Gambar 12. Visualisasi dengan iterasi 15, Iterasi 60, 80, 150 dan 350

Dari gambar diatas dapat kita lihat pada pada iterasi 15 merupakan titik awal gelombang, kemudian pada iterasi ke-60 gelombang semakin besar menuju ke semua arah. Pada iterasi ke-80 sudah terjadi perambatan pada bidang citra sehingga terjadi proses tumbukan dengan tepi citra dan gelombang dipantulkan Pada iterasi ke-150 perambatan semakin melebar, tumbukan antara gelombang datang dan gelombang pantul terjadi. Pada iterasi ke-350 gelombang sudah mengalir penuh pada sebagian bidang.

Dengan visualisasi perambatan gelombang tsunami diatas, kita dapat melihat bagaimana perambatan gelombang yang diasumsikan sebagai gelombang tsunami. Ini bisa diterapkan pada bidang wilayah yang lain yang berada di pinggir pantai.

6. PENUTUP

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, dapat diuraikan kesimpulan sebagai berikut:

1. Untuk melakukan perhitungan fluida digunakan persamaan *Navier-Stokes* yang sudah terbukti mampu menyelesaikan perhitungan fluida.
2. Metode *Lattice Boltzmann* dengan menggunakan persamaan *Navier-Stokes* dianggap mampu menyelesaikan permasalahan numerik.
3. Metode *Lattice Boltzmann* dapat digunakan untuk ruang dimensi yang berbeda, dapat digunakan pada ruang 1-dimensi, 2-dimensi dan 3-dimensi.
4. Pengolahan citra tidak saja dapat digunakan untuk memperbaiki citra tapi juga dapat digunakan untuk mengolah citra menjadi model dalam visualisasi.

6.2 Saran

1. Penelitian dapat dilakukan pada wilayah yang berbeda.
2. Citra peta dapat diubah agar visualisasi lebih mendekati keadaan yang sebenarnya (*real-time*).
3. Penelitian ini masih bisa dikembangkan menggunakan GPU-CUDA sehingga proses yang dihasilkan bisa lebih cepat.

REFERENSI

Moriyama, Koji. & Inamuro, Takaji. 2011. *Lattice Boltzmann Simulations of Water Transport form the Gas Diffusion Layer to the Gas Channel in PEFC*. Commun. Comput. Phys

Geveler, Markus., Ribbrock, Dirk., Goddeke, Dominik. & Turek, Stefan. 2010. *Lattice-Boltzmann Simulations of the Shallow-Water Equations with Fluid-Structure Interaction on Multi- and Manycore Processor*. Institut fiir Angewandte Mathematik, TU Dortmund, Germany.

Kusuma, M.S.B., Adityawaman, M.B. & Farid, M. 2008. *Modeling Two Dimension Inundation Flow Generated By Tsunami Propagation in Banda Aceh City*. International Conference on Earthquake Engineering and Disaster Mitigation, Jakarta April 14-15, 2008.

Ramya, V., Palaniappan, B., 2011, *An Automated Tsunmai Alert System*, International Journal of Embedded System Applications (IJESA) Vol. 1, No. 2, December 2011.

Marghany, Maged., 2012, *Finite Element Method for Simulation of Tsunami Run-up From QuikiBird Satellite Data*, International Journal of Physical Science Vol. 7(9).

Thurey, Nils., Rude, Ulrich. & Stamminger, Marc. 2006. *Animation of Open Water Phenomena with Coupled Shallow Water and Free Surface Simulations*. Eurographics/ACM SIGGRAPH Symposium on Computer Animation.

Huang, Chieh-Ling. 2009. *Shape-Based Level Set Method for Image Segmentation*. 2009 Ninth International Conference on Hybrid Intelligent Systems.

Mansouri, M. & Djafari, A.Mohammad. 2010. *Joint Super-Resolution and Segmentation from a Set of Low Resolution Images Using a Bayesian Approach with a Gauss-Markov-Potts Prior*. International Journal Signal and Imaging Systems Engineering, Vol. 3. No. 4, 2010.

Almalowi, Saeed J. & Ozketin, Alparslan. 2012. *Flow Simulations Using Two Dimensional Thermal Lattice Boltzmann Method*. Journal of Applied Mathematics Volume 2012.

Putra, Darma. 2010. *Pengolahan Citra Digital*. Penerbit ANDI Yogyakarta.