

VISUALISASI TETESAN AIR MENGGUNAKAN LATTICE BOLTZMANN *WATER DROPLETS VISUALIZATION USING LATTICE BOLTZMANN*

Arifiyanto Hadinegoro
Fakultas Teknik Informatika
STMIK AMIKOM Yogyakarta
arifiyanto@amikom.ac.id

ABSTRAK

Water is the important element in of live, every day met with the water, Water is a chemical element that is easily deformed, many factors influence began from nature of the water itself until gravity ,the laws of physics is also present in water droplets phenomenon One such the law of force. the unique nature the water is fairly difficult for computer engineering. However With the development of computer technology now can make a visualization that is similar to the events nature. like this techniques has been apply in making movies and also games, some are used for visual effects that could not be created a real. In this study, authors try to visualize the water droplets with a fluid with one method Lattice Boltzmann fairly simple and powerful in accuracy. Visualization is made a water droplet falling on a cross-section due to gravity at work.

Keywords: *water, Lattice Boltzmann, visualisasi*

PENDAHULUAN

Air merupakan salah satu komponen yang paling utama dalam kehidupan sehari-hari. Air juga salah satu bagian penting dari sebuah industri, air sendiri merupakan sebuah unsur kimia yang terdiri dari *hydrogen* dan oksigen dan memiliki sifat yang tidak menolak terhadap perubahan bentuk dari penampangnya dan kemampuan untuk mengalir [9]. Sifat inilah yang sangat sulit untuk di rekayasa ulang dalam komputer.

Dalam perkembangan teknologi saat ini banyak dijumpai permainan komputer yang menggunakan grafis yang bagus. Dalam industri perfilman juga sangat di minati karena biaya pembuatan yang lebih murah. Selain itu juga penggunaan komputer grafis dalam efek visual relatif atau spesial effect lebih mudah diarahkan dari pada *live shooting* dan memungkinkan menghasilkan gambar yang hampir tidak mungkin dalam dunia nyata.[1]. Fluida khususnya cairan merupakan objek simulasi yang mempunyai karakteristik yang rumit untuk dapat dimodelkan dalam

komputer. Salah satunya adalah gerakannya yang bebas dengan tetap memperhatikan gaya-gaya yang bekerja pada cairan tersebut, seperti gaya gravitasi, tabrakan antar molekul cairan, dan tabrakan dengan objek lain.

Banyak metode yang bisa di gunakan untuk merekayasa fluida dengan komputer grafis agar memiliki gerakan yang mirip dengan sifat aslinya. Salah satu metode yang dapat digunakan adalah metode *Lattice Boltzmann* yang mampu memodelkan aliran fluida yang acak dan rumit, serta menggunakan metode komputasi diskrit yang berbasiskan persamaan Boltzmann. Metode ini telah banyak digunakan pada penelitian penelitian yang berhubungan dengan fluida.[1],[2],[4]. LBM juga banyak di gunakan untuk membuat simulasi untuk mengetahui pola tertentu yang akan terjadi bila diterapkan pada salah satu kasus simulasi. [3],[4].

Penggunaan LBM lebih sesuai daripada penggunaan pemodelan yang menggunakan persamaan *differensial* parsial lain (seperti persamaan *Navier-Stokes*) yang meskipun dapat memodelkan secara berkelanjutan,

tetapi per-hitungan dan komputasi yang dilaksanakan sangat besar dan membutuhkan proses pen-diskritan terlebih dahulu untuk diproses menggunakan komputer. LBM jelas lebih unggul karena merupakan pemodelan “full discrete molecular dynamics” sehingga dapat langsung diaplikasikan pada sistem yang dibangun karena tidak lagi memerlukan proses *discritasi* yang tentu saja akan mempengaruhi hasil pemodelan. Visualisasi dilakukan setelah melewati proses simulasi dari program yang ada, penulis memodifikasi sebuah program [11] agar sesuai dengan penggunaan dan kebutuhan. Hasil simulasi disimpan dalam bentuk file numerik dan dengan bantuan aplikasi lain hingga menampilkan visualisasi [12] dari simulasi yang dihasilkan.

Paper ini merupakan bagian dari penelitian thesis yang sedang dilakukan oleh penulis, dalam paper penulis mengembangkan sebuah program yang telah ada, dengan menambahkan beberapa *source* untuk menyesuaikan dengan kebutuhan penelitian yang sedang dilakukan.

LANDASAN TEORI

Lattice Boltzmann Method (LBM)

LBM merupakan salah satu *cellular automata*, yang berarti fluida terbentuk dari banyak sel sejenis. Semua sel diperbaharui di setiap langkah waktu dengan aturan sederhana, dengan ikut memperhitungkan sel-sel di sekitarnya. LBM memodelkan fluida yang tak mampu-mampat (*incompressible*) di mana partikel fluida hanya dapat bergerak searah dengan *collouisionr* kecepatan *lattice*. LBM menjelaskan Model perilaku makroskopik cairan dalam fisika statistic, dan menjelaskan Model perilaku makroskopik cairan dalam fisika statistic

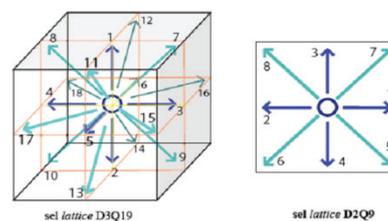
$$\partial_t f + \vec{v} \cdot \nabla f = \Omega(f) \tag{1}$$

adalah probabilitas fungsi distribusi kecepatan partikel

$\Omega()$ perubahan terhadap tabrakan.

Beberapa model umum yang di gunakan adalah (D2Q9) untuk dua-demensi dan (D3Q19) untuk tiga-demensi, pada dua-demensi terdapat simulasi Sembilan arah kecepatannya, sedangkan pada tiga-demensi terdapat Sembilan belas arah kecepatan, seperti terlihat pada gambar 1. Pada arah yang tegak lurus akan mempunyai nilai 1 sedangkan pada arah menyamping mempunyai nilai $\frac{1}{\sqrt{2}}$, fungsi kecepatan dan distribusi partikel dinotasikan dengan f_i dimana nilai i menunjukkan nomor *collouisionr lattice*. Masing-masing distribusi fungsi mewakili sejumlah partikel dalam cairan yang bergerak sepanjang arah *vektor* kecepatannya, maka setiap langkah waktu pada sel di posisi X di $DF(x,t)$ harus di simpan sebagai nilai floating-point untuk setiap arah kecepatan dengan arah *vektor* di definisikan sebagai:

- $(0,0,0)$ for $i = 0$
- $(\pm 1,0,0)$ for $i = 1,2$
- $(0, \pm 1,0)$ for $i = 3,4$
- $(0,0, \pm 1)$ for $i = 5,6$
- $(\pm 1, \pm 1,0)$ for $i = 7..10$
- $(0, \pm 1, \pm 1)$ for $i = 11..14$
- $(\pm 1, 0, \pm 1)$ for $i = 15..18$



Gambar 1, visualisasi arah gerakan *lattice* [5].

Pada fungsi distribusi pertama merupakan partikel dalam yang beristirahat, dari nilai tersebut nilai-nilai mikroskopik untuk kepadatan (*density*) dan kecepatan (*velocity*) bisa di hitung :

$$\rho = \sum_{i=1}^{19} f_i, u = \frac{1}{\rho} \sum_{i=1}^{19} f_i e_i \tag{2}$$

Streaming, Collusion, Equilibrium

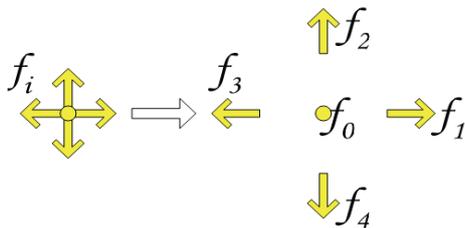
Secara numerik LBM bisa dapat di selesaikan dengan 2 tahap aliran (5) dan tahap tabrakan (6) (*collouision*), Tahap aliran (*streaming*) hanya melakukan operasi perulangan yang sama seperti yang terlihat

pada gambar 2. Masing-masing *cell* mendistribusikan pada *cell* tetangga yang searah *collouisionnya* , Tahap tabrakan *cell*, pada tahap ini *cell* yang mengalami tubrukan akan berubah distribusinya untuk semua fungsi distribusi partikel, dan tidak merubah kepadatan dan kecepatan *cell*. Setelah selesai *relaxing* yang datang setelah fungsi distribusi dengan setting nilai kesetimbangan distribusi fungsi dapat dapat dihitung untuk setiap sel dengan densitas dan kecepatan dari Persamaan. (1). Fungsi keseimbangan(*Equilibrium*) distribusi didefinisikan sebagai:

$$f_i^{eq} = \omega_i \left[\rho - \frac{3}{2} (\bar{u})^2 + 3(\bar{e}_i \cdot \bar{u}) + \frac{9}{2} (\bar{e}_i \cdot \bar{u})^2 \right] \quad (3)$$

Dimana adalah bobot yang tergantung pada vek-tor kecepatan :

$$\begin{aligned} \omega_i &= \frac{1}{3} & \text{untuk } i = 0 \\ \omega_i &= \frac{1}{6} & \text{untuk } i = 1..6 \\ \omega_i &= \frac{1}{36} & \text{untuk } i = 7..18 \end{aligned}$$

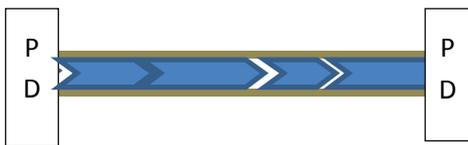


Gambar . 2 *distribution fursion* [8].

$$f_{-i}(x, t + 1) = f_i(x, t) \quad (8)$$

$$f_i(i, j, 0) = f_i(i, j, N_2 - 1) \quad (9)$$

$$f_i(i, j, N_2 - 1) = f_i(i, j, N_2) \quad (10)$$



Gambar . 3. Visualisasi *Periodic boundary*

Marching cube

Marching cube adalah algoritma untuk membentuk sebuah bentuk tertentu, dalam hal ini adalah membentuk sebuah bola fluida dan air di bawahnya. algoritma ini memanfaatkan

nilai waktu relaksasi akan menentukan fluida dapat mencapai titik kesetimbangan lebih cepat atau lebih lambat, (4) fungsi distribusi partikel yang baru :

$$f_i' = (1 - \omega) f_i + \omega f_i^{eq} \quad (4)$$

akan di simpan dalam sel yang sesuai, setelah semua *cell* telah bertabrakan, maka tahap aliran berikut dapat di laksanakan. *Streaming* dan tabrakan bisa di satukan dan di gabungkan menjadi satu rumus persamaan ini (7) sering di temukan dalam literature LBM.[6],[7].

$$f_i(\bar{x}, t) = f_i'(\bar{x} - \bar{e}_i, t - 1) \quad (5)$$

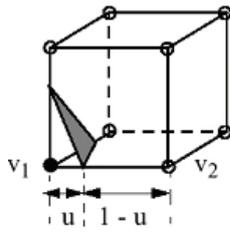
$$f_i'(\bar{x}, t) = f_i(\bar{x}, t) - \frac{1}{\tau} (f_i(\bar{x}, t) - f_i^{eq}(\bar{x}, t)) \quad (6)$$

$$f_i(\bar{x} + \bar{e}_i \Delta t, t + \Delta t) - f_i'(\bar{x}, t) = -\frac{1}{\tau} (f_i - f_i^{eq}) \quad (7)$$

Boundary condition

Boundary atau batasan merupakan hal yang penting dalam sebuah simulasi, batasan ini juga akan mempengaruhi hasil dari simulasi, beberapa model persamaan slip *boundary* dan *non-slip boundary*, no-slip boundary condition merupakan implementasi *boundary* yang membuat partikel memantul (*bounce back*) ,di tulis dengan persamaan (8), slip *boundary* akan membuat partikel melaju secara *periodic* dan berkala dengan persamaan (9) dan terakhir adalah mengabaikan setiap partikel yang melewatinya (*out flow*),(10).

perhitu-ngan secara diskrit pada LBM, dalam sebuah *boundary*, memberi inisialisasi pada titik yang di perlukan membandingkan nilai setiap titik apakah berada pada luar atau di dalam, jika ada permukaan kubus yang terpotong maka di ditetapkan titik persimpangannya dan di tentukan oleh bit dinomor kembali (interpolasi linear) seperti contoh pada gambar (3) terlihat dalam sebuah grid interpolasi permukaan persimpangan pada garis tepi untuk menghitung segitiga yang terbuat menggunakan rumus pitagoras(12) dan perbandingan dengan densitas yang ada. (13)



Gambar 3. interpolasi antar garis (sumber [8])

$$v_i = v_1 * (1 - u) + v_2 * u \quad , \quad (11)$$

$$u = \frac{v_1 - v_i}{v_1 - v_2} \quad (12)$$

$$Rad = \sqrt{x, y, z} \quad (12)$$

$$G(x, y, z) = 0,1 * \left((\rho_{right} + \rho_{low}) - drop * (\rho_{right} - \rho_{low}) * \tan \frac{(Rad - dr)}{faceW} * 0.2 \right) \quad (13)$$

Pembuatan model tetesan air adalah dengan membuat dua model air yang pertama membuat tetesan air dan air yang berada pada penampang, algoritma air pada penampang di buat sama seperti tetesan air, namun definisi dari panjang dan lebar nya sama dengan batas atau boundary simulasi.

External Force (gaya luar)

Gaya yang berlaku sekarang pada model LBM (14) untuk menerapkan gaya bisa di terapkan untuk semua cell fluida dari persamaan berikut :

$$\vec{u} = \vec{u} + \tau \vec{F} \quad (14)$$

Dimana adalah kecepatan makroskopik, skala waktu relaxation, adalah gaya luar yang berlaku,

Antara interfase dari 2 fase. Untuk cairan multi-phase component tunggal (misal air / udara) gaya luar untuk F antara partikel yang di buthkan partikel tetangga dijabarkan sebagai berikut (15), [10],

$$F(x, t) = -G\psi(x, t) \sum_{\alpha=1}^2 w_{\alpha} \psi(X + e_{\alpha} \Delta t, t) e_{\alpha} \quad (15)$$

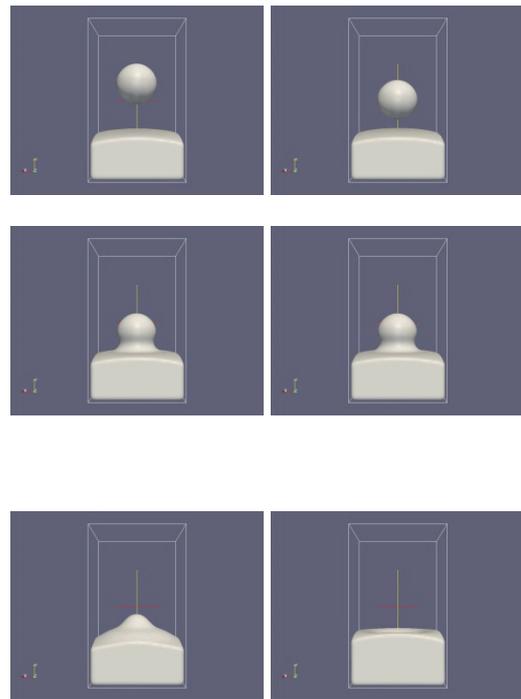
Dimana G adalah kekuatan interaksi ,adalah $1/9 a = \{1,2,3,4\}$, is $1/36$ for $a =$ adalah potensi interaksi (16) :

$$\psi(\rho) = \psi_0 \exp(-\rho_0 / \rho) \quad (16).$$

dan adalah nilai konstan sembarang.

1. HASIL

Hasil simulasi ini menghasilkan simulasi tetesan air atau droplet yang membentur air yang berada di penampang bawah berdasarkan model 3D lattice Boltzman D3Q19, simulasi di integrasikan dalam komputer. Hasil simulasi akan di simpan dalam bentuk File VTK, dan di butuhkan tools lain[12] untuk visualisasinya . hasil akhir visualisasi di satukan menjadi sebuah file video.



Gambar4. Hasil dari visualisasi menggunakan bounce back boundary

2. KESIMPULAN DAN SARAN

Hasil dari simulasi ini masih belum sepenuhnya mirip dengan kondisi nyata. Disebakan karena perbedaan densitas antara udara dan fluida dalam simulasi sangat rendah berbeda jauh bila dalam dunia nyata. Komputasi yang sangat banyak juga

menyebabkan waktu dalam penyelesaiannya memakan waktu yang cukup lama, hingga untuk penelitian ke depan disarankan menggunakan komputer parallel atau menggunakan *processor* dengan kecepatan tinggi.

Kedepannya penelitian ini di fokuskan untu mengurangi waktu yang di butuhkan untuk menyelesaikan simulasi *fluida* dengan memanfaatkan *parallel computing*.

Reference

- [1] Susanto, E.(2009) *Perancangan Program Simulasi Fluida Pada Industri Perfilman Menggunakan Metode Lattice Boltzmann* (skripsi). Universitas Bina Nusantara, Jakarta.
- [2] Pudjanarsa, A. (2005) “*Simulasi Numerik Karakteristik Aliran Fluida Melewati Silinder Teriris Satu Sisi (Tipe D) dengan Variasi Sudut Iris dan Sudut Serang*”, Jurnal teknik mesin volume 5, nomor 1.
- [3] Tumelo R.A Uoane,(2011) *Lattice Boltzmann methods for shallow water flow applications* (Dissertation) . University of the Witwatersrand,Johannesburg, South Africa.
- [4] Fadlila Rohmadani, (2010) *Visualisasi Gerakan Fluida 3 Dimensi Menggunakan Metode Lattice Boltzmann* (TA) Instittu teknologi Sepuluh Nopember Surabaya
- [5] Nils Thürey, Ulrich Rüde, (2004)“*Free Surface Lattice-Boltzmann fluid simulations with and without level sets*” journal, vision modeling and visualization,USA
- [6] A. Mohamad, 2011, “*Lattice Boltzmann Method, Fundamentals and Engineering Applications with Computer Codes*”, Springer-Verlag London.
- [7] Alexander J. Wagner,2008.”*A Practical Introduction to th e Lattice Boltzmann Method*”,<http://www.ndsu.edu/fileadmin/physics.ndsu.edu/Wagner/LBbook.pdf>,12 , North Dakota State University.USA.
- [8] William E.,Lorenson and Harvey E. Cline,1987,” *Marching Cubes: A High Resolution 3D Surface Construction Algorithm*” , Proceeding SIGGRAPH '87 Proceedings of the 14th annual conference on Computer graphics and interactive techniques Pages 163 – 169, NY.
- [9] Air, Wikipedia,2012, *Air*, [online], (<http://id.wikipedia.org/wiki/Air>),(diakses tanggal 30 juli 2012, 16:44)
- [10] M.C. Sukop D.T. Thorne, Jr. 2007,*Lattice Boltzmann ModelingLattice Boltzmann Modeling* , Springer,USA.
- [11] LBM Flow, 2012, *LBMFLOW*, [online], <http://lbmflow.com/standard>, (di akses 28 Juli 2012: 15.34).
- [12] Kitware, Sandia National Labs and CSimSoft, 2005,*Paraview 3.0*, <http://www.paraview.org/>(di akses tanggal 29 juli 2012, 16:00)