

STUDI NUMERIK *TOTALLY ASSYMETRIC SIMPLE EXCLUSION PROCESS* DENGAN ATURAN DINAMIKA *PARALLEL UPDATING* DAN SYARAT BATAS PERIODIK UNTUK PEMODELAN KERAPATAN DAN RAPAT ARUS PROSES THAWAF DALAM IBADAH HAJI DENGAN VARIASI JUMLAH PARTIKEL DAN KEKISI

Numerical Study Totally Assymmetric Simple Exclusion Process with Periodic Boundary Conditions and Dynamics with Parallel Updating Rule And Periodic Boundary for Modeling of Density and Current Density of Thawaf Process in Muslim Pilgrimage with Variaton Number of Particle and Lattice

Oleh: Muhammad Ikrom dan Wipsar Sunu Brams Dwandaru
Jurusan Pendidikan Fisika FMIPA Universitas Negeri Yogyakarta
miko.clapsa@gmail.com

Abstrak

Penelitian ini adalah pemodelan dinamik *Totally Asymmetric Simple Exclusion Process* (TASEP). Selanjutnya, dibahas pula tentang syarat batas periodik dan aturan dinamika *parallel updating*. Pada penelitian ini TASEP diaplikasikan pada pergerakan Jama'ah haji yang melakukan thawaf di Ka'bah. Pada sistem tersebut dihitung secara numerik dengan menggunakan bahasa C++. Untuk laju lompatan (k) diambil nilai $k = 0,3$, nilai k diambil dengan menyesuaikan dengan kondisi jama'ah haji pada saat musim haji. Data yang diperoleh dari pemograman lalu diolah dan dibuat grafik dengan menggunakan *Microsoft Excel 2010*. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa kerapatan (ρ) dan rapat arus (J) pada pemodelan yang dilakukan terhadap proses thawaf di Ka'bah dipengaruhi oleh besarnya jumlah partikel (M) dan jumlah kekisi (N). Kerapatan (ρ) dan rapat arus (J) mengalami perubahan yang berbentuk fungsi grafik pangkat minus satu dan ketidaktetapan pada variasi jumlah kekisi (N), sedangkan pada variasi jumlah partikel (M) mengalami perubahan fungsi grafik yang linear dan polinomial orde dua.

Kata Kunci: TASEP, syarat batas, aturan dinamika, kerapatan partikel, rapat arus partikel, laju lompatan, jumlah partikel dan jumlah kekisi.

Abstract

This study was one of Totally Asymmetric Simple Exclusion Process (TASEP) dynamic modeling. Then, it also discussed about periodic boundary conditions and dynamics with parallel updating rule. In this study TASEP was aplicated in the movement of Muslims pilgrim perform thawaf in Ka'bah. The magnitude of density (ρ) and current density (J) in that system was calculated by numerical system which used C++ programming language. For the rate of the leap (k) taken $k = 0.3$, the value of k is taken with adapting the condition of Muslim spilgrim in that pilgrimage. The data that collected from programming proceed and made graph use Microsoft Excel 2010. Density (ρ) and current density (J) changed in the graph of power function minus one and irregularity in variation of number of of lattice (N), while density (ρ) and current density (J) changed of the graph of linear function and polynomial second-order in the variation of number of particle (M).

Keyword : TASEP, boundary condition, dynamics rule, density, current of density, rate of the leap, number of particle, and number of lattice.

PENDAHULUAN

Salah satu ritual ibadah dalam Islam adalah ibadah haji. Diantara bermacam-macam tahapan haji ada yang disebut ibadah thawaf. Kata thawaf berasal dari kata thafa (makna aslinya mengelilingi sesuatu). Menurut syari'at islam, thawaf berarti mengelilingi Ka'bah. Menurut manasik haji, thawaf menduduki kedudukan yang paling penting, yaitu ibadah yang harus dilakukan pertama kali setelah tiba di Makkah, dan ibadah yang paling akhir pada waktu meninggalkan Makkah (Ali, 1996).

Menurut data Kementerian Haji Arab Saudi memperkirakan jumlah jama'ah haji tahun 1436 H/ 2015 M sebanyak 1.355.000 jama'ah mancanegara dan 48.000 jama'ah domestic (<http://www.viaberita.com/7650/inilah-perkiraan-jumlah-jamaah-haji-seluruh-dunia-tahun-2015>). Bisa kita bayangkan dengan jumlah orang sebanyak itu, berkumpul di tempat dan saat yang sama, sehingga akan terjadi lautan manusia yang saling berhimpit untuk melaksanakan ibadah thawaf.

Dengan meningkatnya perkembangan ilmu teknologi yang terjadi pada saat ini, eksperimen komputer memainkan peranan penting dalam perkembangan ilmu dan kehidupan manusia. Dalam banyak hal, pemodelan diikuti oleh penyederhanaan permasalahan dalam rangka menghindari kompleksitas

perhitungan, sehingga sering aplikasi dari model teoritis tidak dapat menjelaskan bentuk sesungguhnya dari sistem makroskopis, seperti system larutan, protein, dan lain-lain (<http://komputasi.lipi.go.id/data/1014224403/data/111304169.pdf>). Dari penjelasan di atas, penelitian yang dibahas kali ini akan menggunakan pemodelan komputasi numerik yang merujuk pada kegiatan thawaf yang berlangsung di Ka'bah, Mekkah.

TASEP merupakan salah satu cara untuk menangani sistem-sistem tak seimbang tersebut dengan pemodelan. TASEP dalam satu dimensi (1D) adalah proses stokastik dimana partikel-partikel inti keras (*hard-core*) yang menempati kekisi 1D akan bergerak (melompat) ke kisi tetangga terdekat selama kekisi tetangga tersebut tidak ditempati oleh partikel lain (Dwandaru dan Schmidt, 2007; Dwandaru, 2010). Dalam penelitian ini, model TASEP digunakan untuk mempelajari perilaku fisis pergerakan jama'ah haji yang melaksanakan thawaf. Secara lebih teliti, Jama'ah haji dimodelkan sebagai sebuah partikel inti-keras, sedangkan lintasan thawaf dapat dimodelkan sebagai kisi. Dari pemodelan ini, dapat diperoleh kerapatan dan rapat arus partikel yang dapat menggambarkan kepadatan dan rapat arus kegiatan thawaf. Untuk mendukung pemodelan ini, dalam penelitian ini, digunakan syarat batas periodik (tertutup) dan aturan dinamika

parallel updating.

Berdasarkan latar belakang masalah di atas, dapat diidentifikasi berbagai masalah yang ingin kita dapatkan jawabannya. Bagaimana peyederhanaan pemodelan TASEP dapat menyelesaikan bentuk riil dari sistem makroskopis dan pada kegiatan thawaf yang berlangsung di sekitar Ka'bah. Sehingga tujuan yang ingin dicapai dalam kajian ini adalah

1. Memodelkan pergerakan jama'ah haji yang melalui lintasan thawaf di sekitar Ka'bah menggunakan model TASEP dengan syarat batas periodik dan aturan dinamika *parallel updating*.
2. Mengetahui pengaruh variasi jumlah kekisi (N) dan jumlah partikel (M) kepada nilai kerapatan (ρ) dan rapat arus (J) menggunakan model TASEP
3. Menginterpretasikan hasil nilai kerapatan (ρ) dan rapat arus (J) dari point 2 dengan kegiatan thawaf di Ka'bah.

Kajian ini diharapkan dapat mengaplikasikan ilmu Fisika, terutama analisis numerik dan simulasi, untuk turut serta mencari solusi atas permasalahan kegiatan thawaf yang terjadi di Ka'bah.

METODE PENELITIAN

Jenis Penelitian

Penelitian ini merupakan jenis penelitian teori dan komputasi. Metode komputasi yang digunakan adalah metode numerik. Metode ini diaplikasikan pada model TASEP dengan syarat batas

periodik dan aturan dinamika *parallel updating*. Untuk itu dibuat suatu program komputer menggunakan bahasa pemrograman C++.

Waktu dan Tempat Penelitian

Tempat dilakukannya penelitian ini adalah Laboratorium Fisika Komputasi lantai 3, Jurusan Pendidikan Fisika, FMIPA, UNY. Sedangkan waktu pelaksanaan penelitian ini adalah dari bulan Januari - Mei 2016.

Instrumen Penelitian

Instrumen yang dipakai dalam penelitian ini berbentuk *hardware* dan *software*. Berbagai *hardware* yang digunakan dalam penelitian ini adalah: laptop Toshiba Satellite L840D AMD A6-4400M APU Radeon HD Graphics CPU @2.70GHz (1 buah), kertas dan alat tulis (secukupnya). Berbagai *software* yang digunakan dalam penelitian ini adalah Microsoft *Windows 7 Ultimate*, *Dev C++* versi 4.9.9.2, *Microsoft Office Excel 2010*, *Microsoft Office Words 2010*, *Microsoft Powerpoint 2010*.

Variabel Penelitian

Pada penelitian ini variabel yang diteliti adalah

1. Variabel bebas

Terdapat beberapa variabel bebas dalam penelitian ini, yaitu: jumlah kekisi (N) yaitu $N \leq 358$ kekisi, dengan angka random sesuai dengan jumlah partikel yang melewati kisi dan jumlah partikel (M) yaitu jumlah partikel yang

melewati kisi $M = 21, 51, 99, 123, 177$ dan 246 .

2. Variabel terikat

Variabel terikat adalah variabel yang nilainya merupakan akibat dari perubahan variabel bebas. Terdapat beberapa variabel terikat pada penelitian ini adalah: kerapatan (ρ) dan rapat arus (J).

3. Variabel kontrol

Variabel yang dibuat tetap selama percobaan. Untuk variabel bebas N maka variabel kontrolnya adalah M dan untuk variabel bebas M maka variabel kontrolnya adalah N . Selain itu laju lompatan dari satu kisi ke kisi yang lain adalah $k = 0,3$.

Langkah Kerja

1. Mempersiapkan instrumen yang digunakan untuk penelitian.
2. Membuat Program komputer (metode numerik) menggunakan bahasa pemrograman C++
3. Melakukan variasi jumlah kekisi (N) dan jumlah partikel (M).
4. Menghitung nilai kerapatan (ρ) dan rapat arus (J).
5. Dari hasil nilai Kerapatan (ρ) dan rapat arus (J) yang didapatkan lalu diinterpretasikan kepada kegiatan Thawaf yang berlangsung di Kabah.

Teknik Analisis Data

Teknik analisis data dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut :

1. Menentukan persamaan yang sesuai dengan model TASEP dengan syarat batas periodik dan aturan dinamika *parallel updating*.
2. Membuat program untuk menyelesaikan permasalahan dengan menggunakan bahasa C++, dibantu dengan aplikasi C++ DEV.
3. Menentukan laju peluang lompatan partikel dalam sistem (k), yang pada penelitian ini peneliti mengambil nilai $k=0,3$.
4. Memvariasikan nilai jumlah kekisi (N) dan jumlah partikel (M) sesuai dengan nilai yang telah ditentukan pada bagian variabel bebas.
5. Menampilkan output berupa nilai kerapatan (ρ) dan rapat arus (J).
6. Memasukkan data output tersebut kedalam aplikasi *Microsoft Office Excel 2010*, kemudian mengubahnya menjadi grafik.
7. Membuat grafik dengan masing-masing perubahan nilai kerapatan (ρ) dan rapat arus (J) dengan variasi jumlah kekisi (N) dan jumlah partikel (M). Sehingga akan ada 4 grafik yang akan dibahas dan analisis.

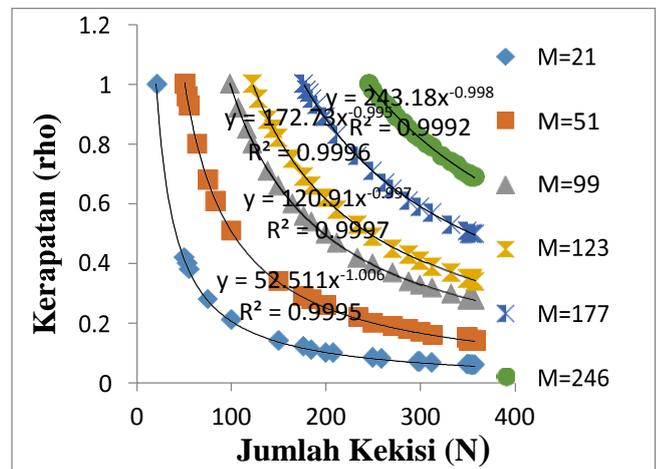
HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Untuk melakukan pemodelan, pertama-tama perlu dibangun hubungan (keterkaitan) antara model TASEP dengan sistem yang sedang dipelajari. Keterkaitan antara model TASEP dengan sistem yang sedang dipelajari ini dapat diidentifikasi sebagai berikut: i) jama'ah haji dimodelkan sebagai partikel inti keras yang jumlahnya kita variasikan sesuai pembahasan sebelumnya, ii) jalur jama'ah haji yang melakukan thawaf dimodelkan sebagai kekisi yang berpusat pada Ka'bah, dan iii) laju lompatan jama'ah haji peneliti mengambil nilai $k = 0,3$ karena nilai tersebut dianggap mewakili laju lompatan jama'ah haji pada saat musim haji.

Dari ketiga pemodelan yang dilakukan, dapat diperoleh sebuah model TASEP yang mewakili kejadian sejumlah partikel yang bergerak dalam sistem kekisi. Sesuai dengan syarat batas periodik, maka sejumlah partikel ini melompat dari satu kisi menuju kisi lainnya dengan laju lompatan tertentu. Selain itu, adanya aturan dinamika *parallel updating* menyebabkan partikel tersebut melompat dari satu kisi ke kisi tetangganya terdekatnya dengan pasti.

Pertama, variasi jumlah kisi atau semakin melebarnya jalur thawaf dengan pusat (Ka'bah) mempengaruhi kerapatan dan rapat arus jama'ah haji yang melaksanakan thawaf di sekitar Ka'bah. Jika diasumsikan jama'ah haji bergerak

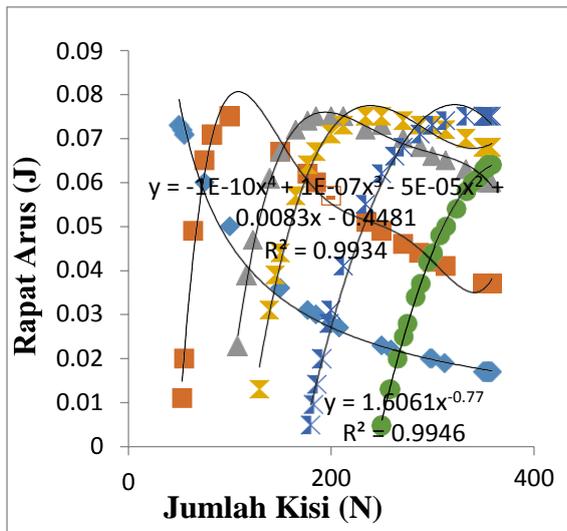
dengan laju lompatan yang sama melintasi jalur thawaf, maka semakin jauh jalur thawaf dari Ka'bah, semakin lancar pula jama'ah haji untuk bergerak mengelilingi Ka'bah. Penempatan jama'ah haji yang terlalu dekat satu dengan yang lain atau bisa dikatakan pada jalur yang sempit, dapat mengakibatkan pergerakan jama'ah semakin lama 'terjebak' pada daerah di sekitar thawaf yang mengakibatkan kurang lancarnya pergerakan thawaf, dapat kita lihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Kerapatan (ρ) sebagai fungsi jumlah jama'ah haji (M) untuk variasi jumlah kekisi (N).

Sehingga hal ini bisa jadi memberi dampak pada kondisi jama'ah haji yang saling berdesakan. Dalam hal ini, direkomendasikan perlu ditentukan jumlah maksimal jama'ah haji yang dapat melakukan thawaf pada setiap jalurnya. Untuk rapat arus yang didapatkan dari variasi jumlah kisi, didapatkan ketidakteraturan grafik yang mewakili setiap jumlah jama'ah haji yang melintasi setiap variasi jumlah kisi. Namun, tetap

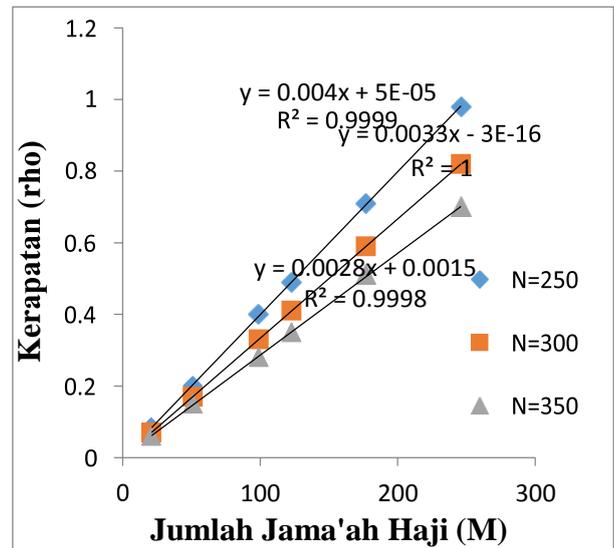
didapatkan pola yang dapat diprediksi, bisa kita perhatikan pada Gambar 2.



Gambar 2. Rapat arus (J) sebagai fungsi jumlah partikel (M) untuk variasi jumlah kekisi (N).

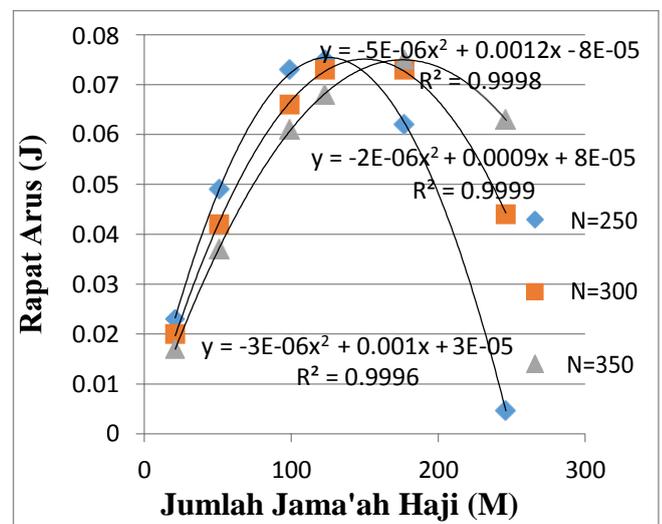
Fungsi grafik berubah dengan pola yang dapat dipahami. Sehingga untuk mendapatkan efektifitas rapat arus yang ingin dicapai direkomendasikan untuk melakukan analisis grafik perubahan rapat arus dengan variasi jumlah kisi.

Selanjutnya, berdasarkan hasil analisis dan pembahasan numerik untuk model TASEP dengan variasi jumlah jama'ah haji, dapat diperhatikan bahwa semakin banyak jumlah jama'ah haji yang melintasi jalur thawaf, maka semakin tinggi pula kerapatan yang terjadi pada saat pergerakan mengelilingi Ka'bah dengan perubahan yang linier, lihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Hasil kerapatan sebagai fungsi dari jumlah kisi untuk variasi jumlah partikel (M).

Hal ini berarti bahwa jama'ah haji cenderung akan bergerak lebih lambat di lintasan thawaf dengan semakin bertambahnya jumlah jama'ah haji. Oleh karena itu, terkait dengan hal ini, direkomendasikan untuk membatasi jumlah jam'ah haji yang melintasi jalur thawaf. Dan untuk rapat arus memiliki perubahan yang berbeda karena perubahannya yang berbentuk parabola, perhatikan Gambar 4.



Gambar 4. Grafik rapat arus (J) sebagai fungsi dari jumlah kisi untuk variasi jumlah partikel (M).

Pada Gambar 4 terlihat bahwa perubahan rapat arus terjadi secara polinomial orde dua (parabola), sehingga dapat diperoleh nilai rapat arus yang paling tinggi dan terendah. Jadi, direkomendasikan untuk mendapatkan efektifitas pada proses thawaf dapat dilakukan dengan menciptakan kondisi yang dihitung dari metode parabola dengan grafik variasi jumlah jama'ah haji.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Dari berbagai pembahasan dan analisis di atas dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Sudah dilakukan pemodelan gerak jama'ah haji yang melaksanakan thawaf menggunakan model TASEP dengan syarat batas periodik dan anturan dinamika *parallel updating*.
2. Kerapatan (ρ) dan rapat arus (J) mengalami perubahan yang berbentuk fungsi grafik pangkat minus satu dan ketidaktetapan pada variasi jumlah kekisi (N), sedangkan pada variasi jumlah partikel (M) mengalami perubahan fungsi grafik yang linear dan polinomial orde dua.
3. Interpretasi variasi jumlah kisi atau semakin jauh jalur thawaf dari Ka'bah mempengaruhi kerapatan dan rapat arus partikel yang melalui kekisi. Kerapatan partikel cenderung turun dengan semakin jauhnya jalur thawaf dari Ka'bah. Dengan penurunan yang menggambarkan fungsi perpangkatan.

Selain itu, rapat arus partikel yang melalui kekisi mengalami perubahan yang tidak teratur dengan pola fungsi grafik yang dapat diprediksi. Jumlah jama'ah haji yang melakukan thawaf berpengaruh terhadap kerapatan dan rapat arus partikel yang melalui kekisi. Jumlah jama'ah haji yang semakin banyak akan menyebabkan bertambahnya kerapatan partikel pada setiap jalur thawaf secara linier. Selain itu, semakin banyak jumlah jama'ah haji yang melintasi jalur thawaf menyebabkan perubahan rapat arus partikel secara parabolik yang bergerak dalam kekisi.

Saran

Berbagai saran yang dapat diberikan untuk penelitian selanjutnya adalah

1. Perlu dilakukannya simulasi untuk model TASEP yang sedang dipelajari. Sehingga simulasi yang dilakukan dapat digunakan untuk memverifikasi lebih jauh hasil- hasil metode numerik yang telah diperoleh dalam penelitian ini.
2. Sebagai pengembangan lebih lanjut dari penelitian ini, perlu dilakukan pemodelan dengan variasi laju lompatan (k) agar dapat mewakili kondisi thawaf dengan berbagai macam keadaan.

DAFTAR PUSTAKA

Ali, Maulana Muhammad. 1996. *Islamologi (Dinul Islam)*. Jakarta: Darul Kutubil islamiyah.

<http://komputasi.lipi.go.id/data/1014224403/data/111304169.pdf> diakses tanggal 23 Februari 2016.

Dwandaru, Wipsar Sunu Brams and Schmidt, Matthias. 2007. *A Relationship of Mean-Field Theory for a Driven Lattice Gas to an Exact Equilibrium Density Functional*, *Journal of Physics A: Mathematical and Theoretical*, vol 40 (44), pp. 13209 – 13215. 10.1088/1751-8113/40/44/002.

<http://www.viaberita.com/7650/inilah-perkiraan-jumlah-jamaah-haji-seluruh-dunia-tahun-2015> diakses tanggal 2 Maret 2016.