



Profil Kepadatan Dan Arus Pada Tasep 2d Dengan Variasi Probabilitas *Input* Dan *Output* Pada *Junction*

Anisa Indriawati

Jurusan Fisika

*Kampus Terpadu Universitas Bangka Belitung Kecamatan Merawang Kabupaten Bangka
Provinsi Kepulauan Bangka Belitung*

*E-mail korespondensi: anisaind.ind@gmail.com

Info Artikel:

Dikirim:
09 November 2020
Revisi:
15 Desember 2020
Diterima:
28 Desember 2020

Kata Kunci:

Road, Probability,
TASEP 2D, input,
output, density,
current

Abstract

One of the models that can describe the density of vehicles on a road is the Totally Asymmetric Simple Exclusion Process (TASEP). TASEP is a stochastic process in which particles that occupy a lattice will move to the nearest neighbor lattice as long as the lattice is not occupied by other particles. In this research, TASEP 2D modeling has been carried out with one input and two outputs. The number of grids is 101 (0 to 100 grids). The variation in the magnitude of the input and output probabilities ($\alpha_1, \beta_1, \beta_2$) affects the density and current profiles. The density profile is represented in a graph of the relationship between the grid to the probability of the presence of particles in a grid. The phases that occur in this research are Maximal Current –Low Density –High Density (MC-LD-HD) and Low Density-Low-Density (LD-LD). The maximum current occurs when the particle density has an MC phase, where the maximum probability of the current density is 0.125. These results indicate that by giving more varied probability values for α_1, β_1 , and β_2 the current trend and density are very diverse.

PENDAHULUAN

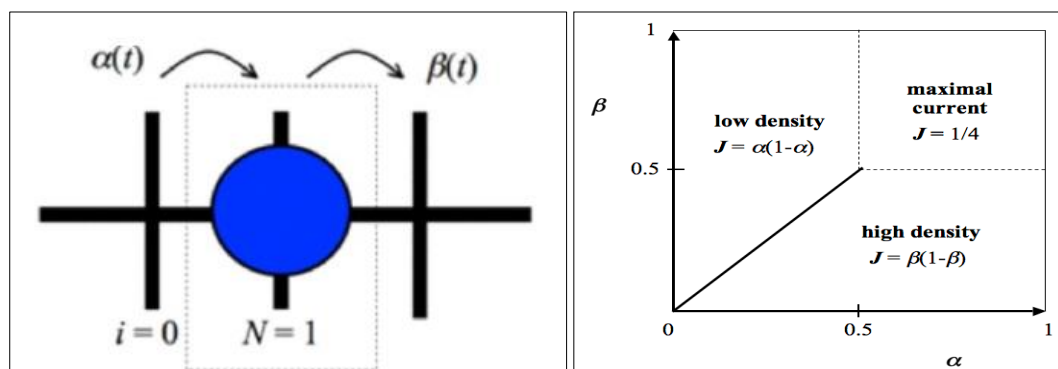
Jalan adalah suatu pasarana transportasi darat yang mencakup seluruh bagiannya serta perlengkapannya [1]. Salah satu fenomena yang terjadi pada sarana transportasi yang beroperasi di suatu yaitu padatnya kendaraan pada suatu jalan yang memungkinkan terjadi kemacetan. Kemacetan terjadi sebagai salah satu akibat dari tidak seimbangnya jumlah kendaraan yang memasuki dan keluar dari suatu jalan. Sebaliknya rendahnya kepadatan kendaraan juga sangat mungkin terjadi ketika jumlah kendaraan yang keluar dari suatu jalan lebih banyak dari jumlah yang masuk. Fenomena-fenomena lain yang lebih kompleks pada suatu arus transportasi pada suatu jalan diilustrasikan melalui suatu pemodelan.

Salah satu pemodelan yang dapat menggambarkan kepadatan kendaraan pada suatu jalan adalah *Totally Asymmetric Simple Exclusion Process* (TASEP). TASEP merupakan suatu proses stokastik dimana partikel yang menempati sebuah kekisi akan bergerak ke kekisi tetangga terdekat selama kekisi tersebut tidak ditempati partikel lain [2]. Berdasarkan perpektif fisika statistik, TASEP dapat dikaji melalui persamaan master. Persamaan master adalah persamaan

diferensial parsial orde satu yang mengilustrasikan evolusi waktu dari fungsi probabilitas suatu sistem fisis [3]. Pemodelan TASEP untuk sebuah partikel pada satu kekisi dengan batas terbuka serta diagram fase pada TASEP 1D ditunjukkan pada **Gambar 1**.

Pada gambar 1a menunjukkan adanya TASEP 1D dengan batas terbuka. Di sisi kiri dan kanan kisi dimodelkan terdapat sebuah reservoir untuk partikel masuk kisi dan sebuah reservoir untuk partikel keluar dari kisi. Probabilitas input dari sebuah reservoir dinyatakan dalam $\alpha(t)$ sedangkan output dinyatakan dalam $\beta(t)$. Perubahan probabilitas input dan output akan mengakibatkan perubahan fase pada profil kepadatan dan arus. Dalam TASEP 1D fase yang terjadi adalah *Low Density* (LD), *High Density* (HD), *Maximal Current* (MC), dan *Coexistence Phase* (CP), dimana diagram fasenya ditunjukkan pada gambar 1b.

Kajian mengenai TASEP telah banyak dilakukan, diantaranya kajian numerik pada TASEP untuk pemodelan *Dynamics of Coulomb Blockade* pada dua Dimensi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kepadatan dengan kondisi tunak diperoleh dengan melakukan variasi kepadatan di sisi kiri dan reservoir yang tepat. *Blokade coulomb* muncul pada saat kepadatan sisi kanan reservoir tinggi [4]. Penelitian tentang TASEP 2D pada *Junction* juga telah dilakukan untuk memodelkan kepadatan suatu persimpangan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa dengan melakukan variasi probabilitas *input* dan *output* suatu partikel dalam kesisi mengakibatkan terjadinya perubahan fase pada profil kepadatan. Fase-fase yang dihasilkan merupakan gabungan dari fase-fase yang terjadi pada kasus TASEP 1D. Fase-fase tersebut antara lain *High Density- High Density* (HD-HD), *Coexistence Phase-High Density* (CP-HD), *Low Density- Coexistence Phase* (LD-CP), *Low Density-Low Density* (LD-LD), dan *High Density-Maximal Current* (HD-MC). Selain beberapa fase tersebut, terdapat satu fase yang hanya terjadi ketika TASEP terdiri atas satu input dan dua output, yaitu fase *Maximal Current-Low Density* (MC-LD) [5]



Gambar 1. (a) Ilustrasi partikel keras pada satu kekisi untuk pemodelan TASEP 1D dengan dengan batas terbuka [3], (b) Diagram fase kepadatan berdasarkan besarnya arus pada TASEP 1D [4]

Pemodelan TASEP 2D yang dilakukan oleh Septiana merupakan gambaran kepadatan suatu kendaraan dalam suatu Jalan Pertigaan dengan satu jalur kendaraan masuk dan dua jalur kendaraan keluar dari suatu jalan serta satu dua jalur masukan dan satu jalur keluar. pada penelitian tersebut, *junction* dengan satu laju masukan dan dua laju keluaran memiliki probabilitas kedua output yang sama ($\beta_1 = \beta_2$). Mengacu pada penelitian Septiana, dalam penelitian ini diperdalam dengan memberikan probabilitas output pertama (β_1), maupun output kedua (β_2) yang tidak sama, sehingga profil kepadatan dan arus yang lebih berragam dapat dianalisis.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak *codeblocks* serta perangkat keras dengan prosesor Intel (R) Celeron (R) N4000. *Codeblocks* merupakan perangkat lunak yang bersifat *open source* dan dilengkapi dengan *source code*. Bahasa pemrograman yang digunakan adalah C++ yang merupakan bahasa pemrograman serbaguna dan dapat digunakan di berbagai sistem operasi [6]. Secara skematis, penelitian digambarkan pada **Gambar 2**. Penelitian dilakukan untuk kasus Jalan Pertigaan (*Junction*) berdasarkan model TASEP 2D dengan satu laju masukan dan dua laju keluaran. Adapun besar masing-masing probabilitas adalah:

Tabel 1. Probabilitas input dan output pada masing-masing kasus

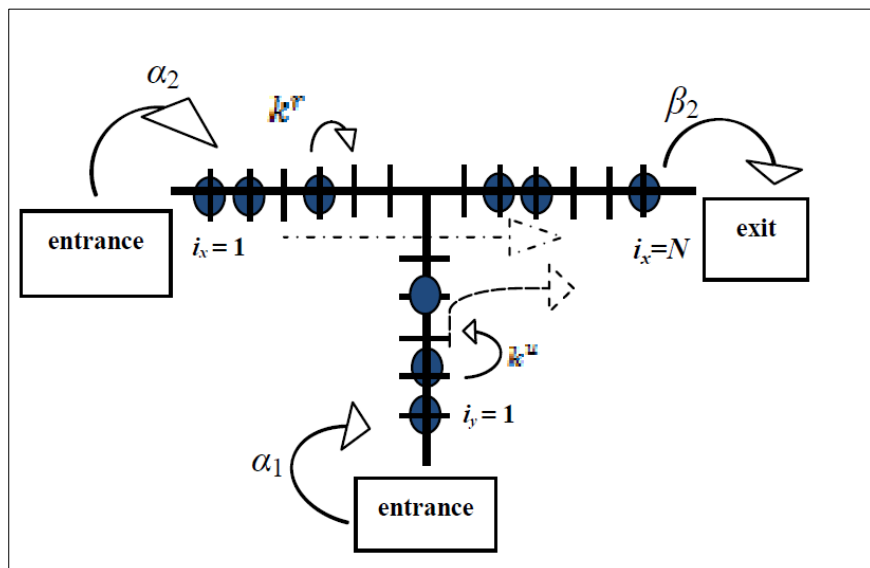
	Probabilitas input dan output			
	α_1	α_2	β_1	β_2
Kasus 1	0.9	0	0.5	0.1
Kasus 2	0.5	0	0.5	0.1
Kasus 3	0.1	0	0.5	0.1
Kasus 4	0.9	0	0.1	0.9

Profil kepadatan dan arus merupakan plotting grafik hubungan antara arus dan kepadatan terhadap kekisi. Adapun persamaan kepadatan dan arus dinyatakan [4]:

$$\frac{\partial \rho_i(t)}{\partial t} \equiv \rho_i(t+1) - \rho_i(t). \quad (1)$$

$$J_{i(i+\hat{e}_y)}^a(t) = k_{i(i+\hat{e}_y)}^a(t) \rho_i(t) [1 - \rho_{i+\hat{e}_y}(t)]. \quad (2)$$

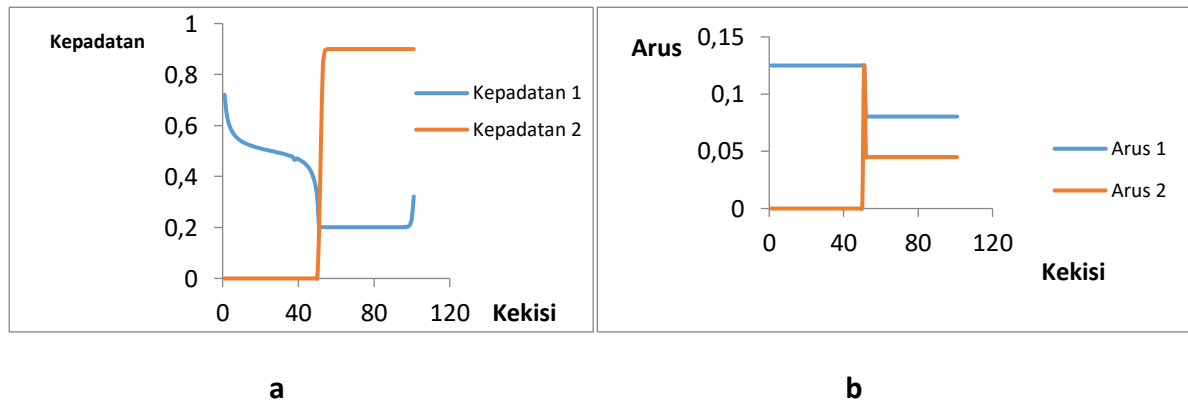
Di dalam penelitian ini, ditetapkan nilai *hopping rate* suatu partikel untuk melompat ke kisi (k) berikutnya adalah 1 serta jumlah kekisi (N) adalah 101 (kisi ke-0 sampai dengan 100).



Gambar 2. Dinamika TASEP 2D pada Junction dengan satu input dan dua output [5]

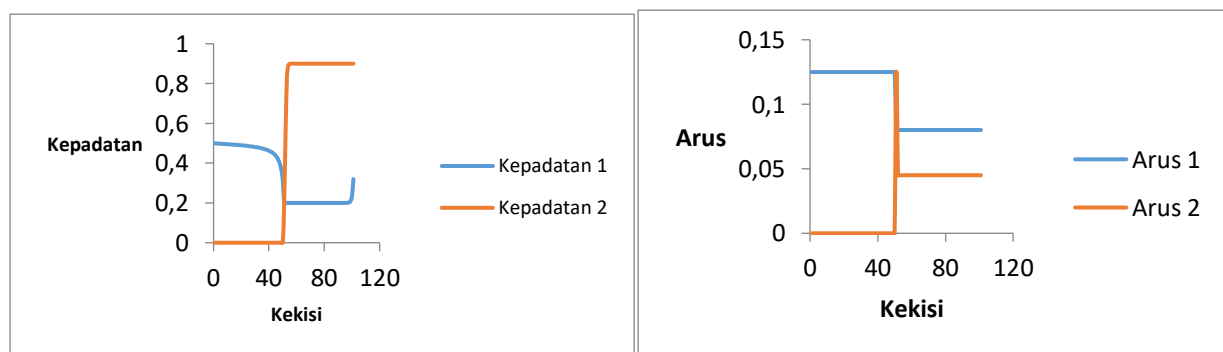
HASIL DAN PEMBAHASAN

Diagram fase pada kasus 1 dimana besarnya $\alpha_1 = 0.9, \beta_1 = 0.1, \beta_2 = 0.9$ memiliki profil kepadatan dan arus seperti pada **Gambar 4**. Berdasarkan grafik kepadatan dan kekisi dapat diamati bahwa dari profil yang terbentuk pada $\rho(\alpha_1, \beta_1)$ adalah MC-LD. Hal ini terjadi karena probabilitas input lebih tinggi dari output, yang mengakibatkan terjadinya penurunan kepadatan yang perlahan. Hasil yang berbeda ditunjukkan pada $\rho(\alpha_2, \beta_2)$ dimana fase yang terjadi adalah HD. Probabilitas kepadatan cukup tinggi dikarenakan pada output β_2 bernilai jauh lebih kecil dari inputnya. Hal ini mengakibatkan ketidakseimbangan probabilitas partikel yang masuk dan keluar. Arus pada fase MC lebih tinggi dari pada pada HD. Pada kasus 1D fase MC terjadi ketika arus bernilai 0.25. pada TASEP 2D, arus pada fase MC tidak selalu bernilai 0.125 karena adanya penambahan output.



Gambar 4a. Profil kepadatan, dimana kepadatan 1 dan 2 masing-masing $\rho(\alpha_1, \beta_1)$ dan $\rho(\alpha_2, \beta_2)$ dan Arus 1 dan 2 masing-masing $J(\alpha_1, \beta_1)$ dan $J(\alpha_2, \beta_2)$, dengan $\alpha_1 = 0.9, \alpha_2 = 0, \beta_1 = 0.5, \beta_2 = 0.1$

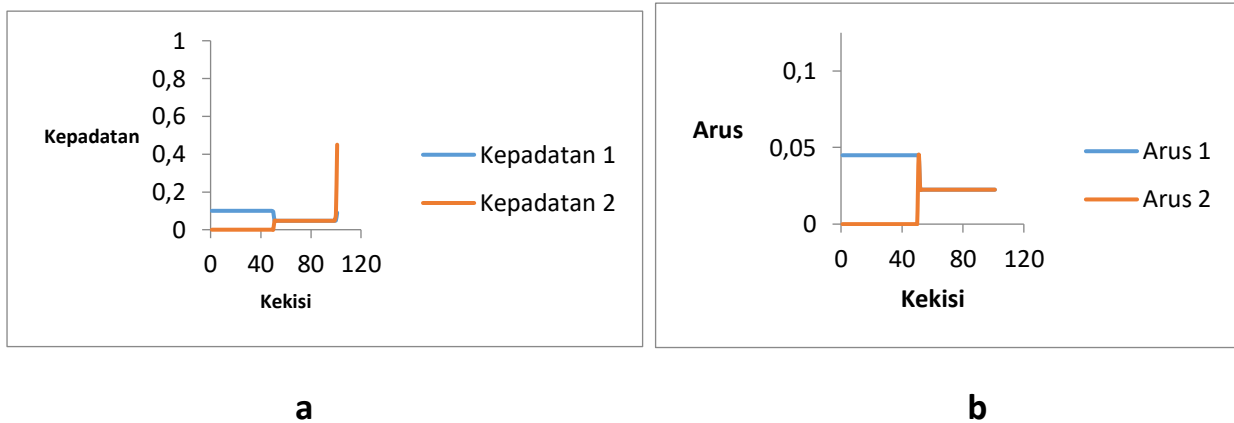
Gambar 5 adalah gambaran pada kasus 2. Pada kasus masih menunjukkan fase MC-LD pada $\rho(\alpha_1, \beta_1)$, akan tetapi karena probabilitas input lebih kecil dari kasus 1, di awal kekisi tidak terjadi kepadatan yang tinggi, dan menurun hingga mengalami fase LD. Fenomena yang sama masih terjadi pada $\rho(\alpha_2, \beta_2)$. Cukup kecilnya probabilitas output yang diberikan mengakibatkan terjadinya probabilitas kepadatan yang cukup tinggi. Dalam hal ini, arus yang terjadi pada MC lebih tinggi dari pada LD dan HD.



Gambar 5. Profil kepadatan, dimana kepadatan 1 dan 2 masing-masing $\rho(\alpha_1, \beta_1)$ dan $\rho(\alpha_2, \beta_2)$ dan Arus 1 dan 2 masing-masing $J(\alpha_1, \beta_1)$ dan $J(\alpha_2, \beta_2)$, dengan $\alpha_1 = 0.5, \alpha_2 = 0, \beta_1 = 0.5, \beta_2 = 0.1$

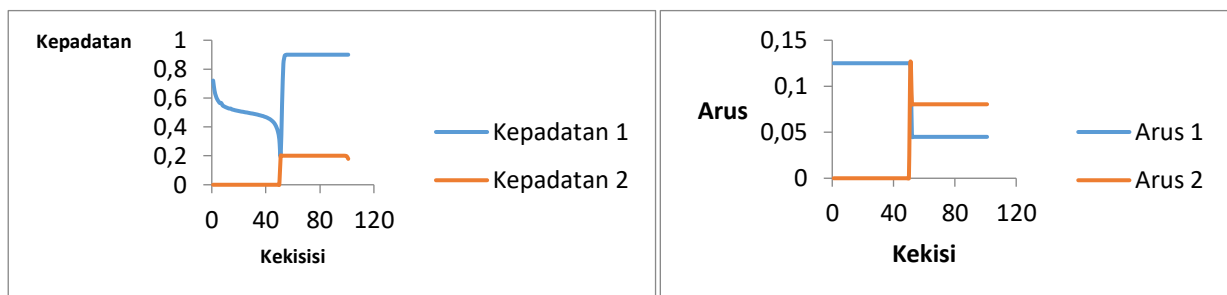
Kasus 3 menunjukkan profil kepadatan dengan fase LD-LD. Kepadatan rendah atau *low density* merupakan suatu fase dimana besarnya laju partikel yang masuk ke kisi lebih kecil dari

laju partikel keluar (Derrida, 1992). Fase LD merupakan kondisi dimana peluang kepadatan partikel pada kekisi sangat rendah. Profil $\rho(\alpha_1, \beta_1)$ memiliki fase LD disebabkan oleh kecilnya probabilitas masukan partikel, sedangkan probabilitas keluarnya partikel ke reservoir cukup besar. Pada $\rho(\alpha_2, \beta_2)$ di awal proses, fase yang terjadi adalah LD, namun pada akhir proses terjadi peningkatan kepadatan di akhir kekisi. Hal ini disebabkan oleh probabilitas output yang kecil. Arus kepadatan pada kasus ini bernilai kecil. Artinya pada fase LD-LD tidak terjadi probabilitas kepadatan yang tinggi, akan tetapi karena probabilitas mobilitas partikel pada kekisi juga kecil, maka arus kepadatan pun tidak tinggi.



Gambar 6. Profil kepadatan, dimana kepadatan 1 dan 2 masing-masing $\rho(\alpha_1, \beta_1)$ dan $\rho(\alpha_2, \beta_2)$ dan Arus 1 dan 2 masing-masing $J(\alpha_1, \beta_1)$ dan $J(\alpha_2, \beta_2)$, dengan $\alpha_1 = 0.1, \alpha_2 = 0, \beta_1 = 0.5, \beta_2 = 0.1$.

Profil kepadatan pada **Gambar 7** (kasus 4) menunjukkan fase MC-LD-HD, dengan arus maksimal yang terjadi adalah sebesar 0.125, yaitu ketika berada pada fase MC. Probabilitas output yang sangat kecil mengakibatkan terjadinya kepadatan partikel pada kisi 50 hingga 100 sehingga menyebabkan arus sangat kecil. Kecilnya arus ini disebabkan oleh sangat kecilnya probabilitas mobilitas partikel akibat kepadatan. Pada saat partikel mengalami fase LD, arus yang terjadi lebih besar dari saat fase HD karena pada fase LD, probabilitas mobilitas partikel lebih besar dari fase HD.



Gambar 7. Profil kepadatan, dimana kepadatan 1 dan 2 masing-masing $\rho(\alpha_1, \beta_1)$ dan $\rho(\alpha_2, \beta_2)$ dan Arus 1 dan 2 masing-masing $J(\alpha_1, \beta_1)$ dan $J(\alpha_2, \beta_2)$, dengan $\alpha_1 = 0.9, \alpha_2 = 0, \beta_1 = 0.1, \beta_2 = 0.1$.

Beberapa kasus yang dianalisis (kasus 1 sampai 4) dapat dianalogikan sebagai mobilitas kendaraan yang melewati suatu jalan pertigaan. Nilai probabilitas kepadatan dan arus yang bergantung pada input dan output merupakan gambaran fenomena yang terjadi pada suatu jalan dimana jumlah kendaraan yang masuk dan keluar tidak sama. Di sisi lain, fase HD merupakan

kondisi yang analog dengan kemacetan jalan. Perubahan input dan output adalah salah satu gambaran bagaimana cara mengatasi kemacetan lalu lintas. Fase MC merupakan gambaran jalan yang ramai oleh kendaraan namun tetap lancar atau tidak terjadi kemacetan.

KESIMPULAN

Fase yang terjadi pada kasus-kasus yang dikaji adalah *Maximal Current –Low Density –High Density* (MC-LD-HD) dan *Low Density-Low-Density* (LD-LD). Dalam hal ini, MC-LD-HD terjadi pada kasus 1, 2, dan 4. Fase ini terbentuk akibat adanya probabilitas input partikel yang dalam hal ini dianalogikan sebagai banyaknya kendaraan masuk tergolong tinggi, dimana β_1 tinggi, namun β_2 rendah. Akibatnya, di akhir kekisi terjadi kepadatan yang tinggi. Fase LD-LD terjadi pada kasus 3. Hal ini sangat masuk akal dikarenakan adanya probabilitas input yang sangat kecil, dan probabilitas output β_1 lebih besar dari inputnya. Arus paling tinggi terjadi ketika partikel pada kekisi mengalami fase MC. Arus maksimal sebesar 0.125. Hasil ini menunjukkan bahwa dengan memberikan nilai probabilitas yang lebih bervariasi untuk α_1 , β_1 , dan β_2 maka *trend* arus dan kepadatan sangat beragam.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Alhani, Erwan. K, Sulandari. E., *Jurnal Mahasiswa Elektronik Laut, Sipil, Tambang*. Analisa Lalu Lintas Terhadap Kapasitas Jalan Di Pinggiran Kota Pontianak (Kasus Jalan Sungai Raya Dalam). Vol.4. No.4. Hal. 17. Desember 2017.
- [2] Adipurno, R.A, Dwandaru, W.S.B, Darmawan, D. Ruwanto, B. Simulation. *Jurnal sains Dasar*. Analysis Of The Totally Asymetric Simple Exclusion Process To Determine The Profil Of The One-Body Correlation Function, Two-Body Correlation Function, And Three-Body Correlation Function Around The Ends Of The Lattice With Lattice Number Variation. Vol.4 No.1. Hal 7-9. 2015.
- [3] Noviani.E.P.F, Dwandaru W.S.B, Penyelesaian analitik model Totally Asymmetric Exclusion Process (TASEP) dengan satu kekisi. *Proceeding Seminar Nasional Guru Fisika dan Matematika*. 2011. pp. 145-153. ISSN: 0852-078X (Unpublished)
- [4] Dwandaru, W.S.B, Various Correspondences Between Simple Driven and Equilibrium Statistical Hard and Core Models. 2010. *Thesis*. University of Bristol.
- [5] Septiana R, Indriawati A, Dwandaru, W.S.B. *Makara Journal Sciences*. Phase Diagrams and Current Density Profiles of the Totally Asymmetric Simple Exclusion Process in Two Dimensions, for a Three-Way Junction. Vol.18 No.3 Hal. 79-85 doi: 10.7454/mss.v18i3.3719
- [6] Kadir, Abdul. 2014. Belajar Sendiri Pasti Bisa Pemrograman C++. Andi: Yogyakarta
- [7] B. Derrida, E. Domany, and D. Mukamel, *J. Stat. Phys.* 69, 667 (1992).