

## SIMULASI IRINGAN KENDARAAN MENGGUNAKAN METODE OPTIMAL VELOCITY MODEL (OVM)

Abdulloh Azzam<sup>1</sup>, Mahmud Imrona<sup>2</sup>, Nurul Ikhsan.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Prodi S1 Teknik Informatika, Fakultas Teknik, Universitas Telkom

<sup>2</sup> Prodi S1 Teknik Informatika, Fakultas Teknik, Universitas Telkom

<sup>3</sup> Prodi S1 Teknik Informatika, Fakultas Teknik, Universitas Telkom

<sup>1</sup>[azzamdllah.93@gmail.com](mailto:azzamdllah.93@gmail.com), <sup>2</sup>[m.imrona@gmail.com](mailto:m.imrona@gmail.com), <sup>3</sup>[nurixx@gmail.com](mailto:nurixx@gmail.com).

---

### Abstrak

Perubahan partikel dari suatu tempat ke tempat yang lain dalam suatu lintasan disebut Simulasi Dinamika Molekul (SDM). Hal ini disebut juga sebagai perpindahan molekul yang dapat digambarkan dan diimplementasikan dalam kehidupan sehari-hari dapat diterapkan pada *Car Following Model* (CFM). *Car Following Model* juga dapat dijelaskan sebagai perubahan yang terjadi antara *car follower* dengan *car leader* untuk mendapatkan jarak aman berkendara. Metode yang digunakan adalah *Optimal Velocity Model* (OVM) merupakan model waktu kontinu yang mempunyai fungsi percepatan agar dapat mengetahui perubahan posisi dan kecepatan rata-rata kendaraan dengan menggambarkan sebuah grafik trayektori. Kesimpulan *Optimal Velocity Model* adalah salah satu metode lalu lintas pada iringan kendaraan khususnya mobil untuk mengetahui perubahan posisi dan perubahan kecepatan terhadap waktu iterasi agar mendapatkan kecepatan optimal pada mobil. Kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini adalah dapat mengetahui perubahan posisi mobil, kecepatan mobil, pada saat kondisi lancar kecepatan rata-rata mobil mulai stabil pada iterasi ke-3 sedangkan pada kondisi padat mobil pada iterasi ke-5 dan akurasi yang diperoleh peneliti dari grafik trayektori adalah 88,88%. Dengan dibuatnya model iringan kendaraan diharapkan dapat membantu untuk mengurangi permasalahan lalu lintas di negeri ini.

**Kata kunci :** *Car Follower, Car Leader, Car Following Model, Optimal Velocity Model, Trayektori, Equilibrium.*

---

### 1. Pendahuluan [10 pts/Bold]

Perubahan partikel dari suatu tempat ke tempat yang lain dalam suatu lintasan disebut Simulasi Dinamika Molekul (SDM). Hal ini disebut juga sebagai perpindahan molekul yang dapat digambarkan dan diimplementasikan dalam kehidupan sehari-hari diterapkan pada *Car Following Model* (CFM). *Car Following Model* juga dapat dijelaskan sebagai perubahan yang terjadi antara *car follower* dengan *car leader* untuk mendapatkan jarak aman berkendara [4].

Metode untuk menyelesaikan permasalahan lalu lintas yang terjadi di masyarakat, dengan melalui pendekatan *Car Following Model* dapat digambarkan simulasi yang terjadi di masyarakat yang berguna untuk mempermudah dalam memvisualisasikan kondisi kendaraan. Metode yang digunakan adalah *Optimal Velocity Model* yang berfokuskan untuk mengamati perubahan posisi kendaraan, kecepatan kendaraan dan percepatan kendaraan, sebagai salah satu metode *Car Following Model*. *Optimal Velocity Model* adalah salah satu metode untuk memodelkan permasalahan lalu lintas yang ada seperti iringan kendaraan. Dengan dibuatnya model iringan kendaraan diharapkan dapat membantu untuk mengurangi permasalahan lalu lintas yang ada di negeri ini.

### 2. TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Dinamika Molekul

Dinamika molekul salah satu bahasan pada metode komputasi fisika yang terkenal untuk menyimulasikan gerakan partikel. Dinamika molekul merupakan pengembangan dari hukum newton kedua, mengacu kepada hukum *Lennard Jones* dan skema *Velocity Verlet*. Hukum *Lennard Jones* digunakan pada molekul terkecil contohnya air, protein dan lain sebagainya. Sedangkan skema *Velocity Verlet* dapat digunakan untuk kehidupan sehari-hari serta dapat diterapkan pada *Car Following Model* untuk *traffic dynamics* yang dapat digunakan pada *City Traffic*. Oleh sebab itu, konsep dinamika molekul ini sangat berguna tidak hanya dibidang komputasi fisika saja namun juga dapat diterapkan pada komputasi kimia dan biologi, kemudian dinamika molekul melakukan pendekatan dengan metode *Optimal Velocity Model* [3] [6].

**2.1.1 Simulation Molecular Dynamics (SMD)**

Simulasi dinamika molekul adalah simulasi berupa perpindahan molekul yang dapat digambarkan untuk selanjutnya dapat dianalisis lebih lanjut, dikembangkan dan diimplementasikan di dalam kehidupan sehari-hari. Simulasi dinamika molekul dapat diterapkan pada *Car Following Model*. Dengan cara memvisualisasikan partikel-partikel pada dinamika molekul atau disebut juga *Visual Molecular Dynamics*. Selanjutnya adalah dari hasil *Visual Molecular Dynamics* pada lalu lintas kota dengan mengimplementasikan metode *Optimal Velocity Model* [6].

**2.1.2 Steady-State Equilibrium**

*Steady-State Equilibrium* adalah keseimbangan jarak antar mobil pada saat kendaraan tersebut diam atau pada saat kendaraan tersebut sedang melaju. Keadaan berbeda pada *Car-Following Model* terletak pada lalu lintas *Homogeneous* dan *Heterogeneous*. Model yang digunakan adalah *Optimal Velocity Model* dan dapat diaplikasikan pada *Car-Following Model*. Rumus equilibrium bermacam macam sesuai dengan kondisi kendaraan pada saat itu, ini contoh salah satu rumus *equilibrium*. *Optimal Velocity Model* memiliki batasan jarak minimal yang harus dimiliki, maka jarak tersebut dirumuskan sebagai berikut [1] [2]:

$$D = \frac{1}{N} \sum_{t=1}^N \left( \frac{s_{\alpha}(t) - s_{\alpha}^m(t)}{s_{\alpha}^m(t)} \right)^2 \quad (a)$$

Keterangan :

D = Jarak keseluruhan atau Jarak antara mobil satu dengan yang lain.

N = Banyaknya kendaraan.

t = Waktu Durasi.

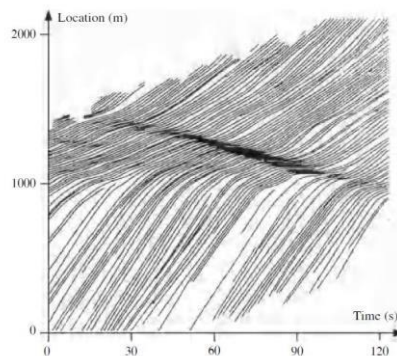
$s_{\alpha}(t)$  = Simulasi Jarak berdasarkan waktu.

$s_{\alpha}^m(t)$  = Kendaraan yang diukur berdasarkan Jarak.

**2.1.3 Trajectory Data**

Lalu lintas kendaraan dapat diamati secara langsung dengan menggunakan kamera. Dengan demikian, *Trajectory Data* merupakan gambaran keseluruhan lalu lintas data yang telah tersedia atau dari data yang telah didapatkan [1]. Selanjutnya, kamera sederhana juga dapat menutupi sebuah area ruas jalan pada beberapa ratus meter baik itu pada kendaraan yang lebih kecil maupun pada kendaraan yang lebih besar [14-16].

Berikut adalah sebuah contoh gambar *Trajectory Data*, yaitu :



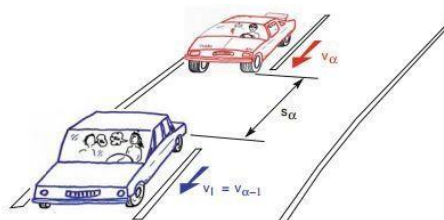
Gambar 2.1 Ilustrasi Trajectory Data [1].

**2.2 Car Following Model (CFM)**

*Car Following Model* merupakan suatu model yang telah diterapkan di dalam kehidupan sehari-hari dalam berkendara pada arus lalu lintas atau merupakan konsep dasar dinamika molekul secara umum. *Mathematical Description* merupakan gambaran dari *Car Following Model* [1] [4].

Jarak antar mobil diperoleh dengan rumus, sebagai berikut :

$$s_{\alpha} = x_{\alpha-1} - l_{\alpha-1} - x_{\alpha} = x_1 - l_1 - x_{\alpha} \quad (2.2.a)$$



Gambar 2.2 Ilustrasi Car Following Model [1].

Dengan indeks  $\alpha-1$  disimbolkan dengan huruf  $l$ .

Model sederhana yang lebih realistis untuk menggambarkan respon dari pengemudi, respon atau gerak reflex akan langsung dilakukan dalam hal percepatan apabila dalam kondisi terdesak dengan fungsi percepatan  $a_{mic}(s, v, v_l)$  [1].

$$\dot{x}_\alpha(t) = \frac{dx_\alpha(t)}{dt} = v_\alpha(t) \quad (2.2.b)$$

$$\dot{v}_\alpha(t) = \frac{dv_\alpha(t)}{dt} = a_{mic}(s_\alpha, v_\alpha, v_l) = \ddot{a}_{mic}(s_\alpha, v_\alpha, \Delta v_\alpha) \quad (2.2.c)$$

Rumus dasar *Car-Following Model*

Percepatan = Kecepatan / Waktu

$$a_{mic}(s_\alpha, v_\alpha, v_l) = \frac{v_{mic}(s, v, v_l) - v}{\Delta t} \quad (2.2.d)$$

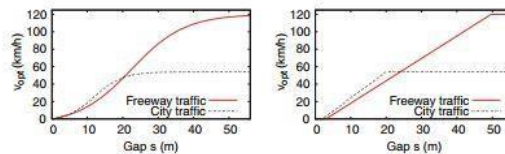
Berikut keterangan dari rumus yang telah dituliskan, yaitu:

$s_\alpha$  = adalah jarak antar mobil biru ke mobil merah dan sebaliknya,  
 $a_{mic}$  = Pecepatan Mikroskopis,  
 $v_{mic}$  = Kecepatan Mikroskopis,  
 $\alpha$  = indeks mobil,  
 $\beta$  = konstanta respon dari model OVM,  
 $v_\alpha$  = kecepatan kendaraan,

$a_\alpha$  = percepatan,  
 $\Delta v_\alpha$  = adalah kecepatan relatif,  
 $v_{\alpha-1}$  = kecepatan dari kendaraan yang mengikuti,  
 $x_\alpha$  = lokasi bumper bagian depan kendaraan “ [13].

### 2.3 Optimal Velocity Model (OVM)

*Optimal Velocity Model* adalah model waktu kontinu yang mempunyai fungsi percepatan dari  $a_{mic}(s, v)$ . Berikut adalah gambar perbandingan dari fungsi dan parameter pada *Optimal Velocity Model* [1] [4].



Gambar 2.3 Fungsi *Optimal Velocity* dan Hasil Parameter [1].

Berikut ini rumus umum pada OVM adalah :

$$\dot{v} = \frac{v_{opt}(s) - v}{\tau} \quad (2.4.a)$$

Persamaan ini menggambarkan penyesuaian dari kecepatan yang sebenarnya  $v = v_\alpha$  dengan kecepatan yang optimal  $v_{opt}$  pada skala waktu yang diberikan  $\tau$ . Membandingkan persamaan percepatan dengan kondisi *steady-state* yang menerangkan bahwa kecepatan optimal setara dengan diagram mikroskopis [1].

$$v'_{opt}(s) \geq 0, v_{opt}(0) = 0, \lim_{s \rightarrow \infty} v_{opt}(s) = v_0 \quad (2.4.b)$$

Alangkah baiknya, apabila persamaan percepatan menjelaskan bagian dari model pada fungsi kecepatan optimal [1]<sup>[1]</sup>.

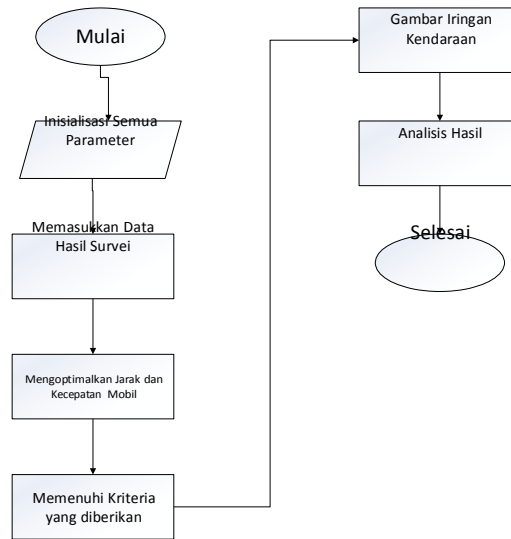
$$v_{opt}(s) = v_0 \frac{\tanh\left(\frac{s}{\Delta s} - \beta\right) + \tanh\beta}{1 + \tanh\beta} \quad (2.4.c)$$

Keterangan dari rumus diatas adalah  $v_0$  adalah nilai kisaran simulasi,  $\frac{s}{\Delta s}$  adalah perbandingan jarak antar mobil dan dengan menggunakan *tangen* hiperbolik dan  $\tau$  yang relevan untuk model yang optimal. Terdapat tiga parameter tambahan yaitu, kecepatan  $v_0$ , rentang lebar transisi  $\Delta s$  dan dari bentuk mobil  $\beta$  [2].

### 3. Rancangan Diagram yang telah dibuat

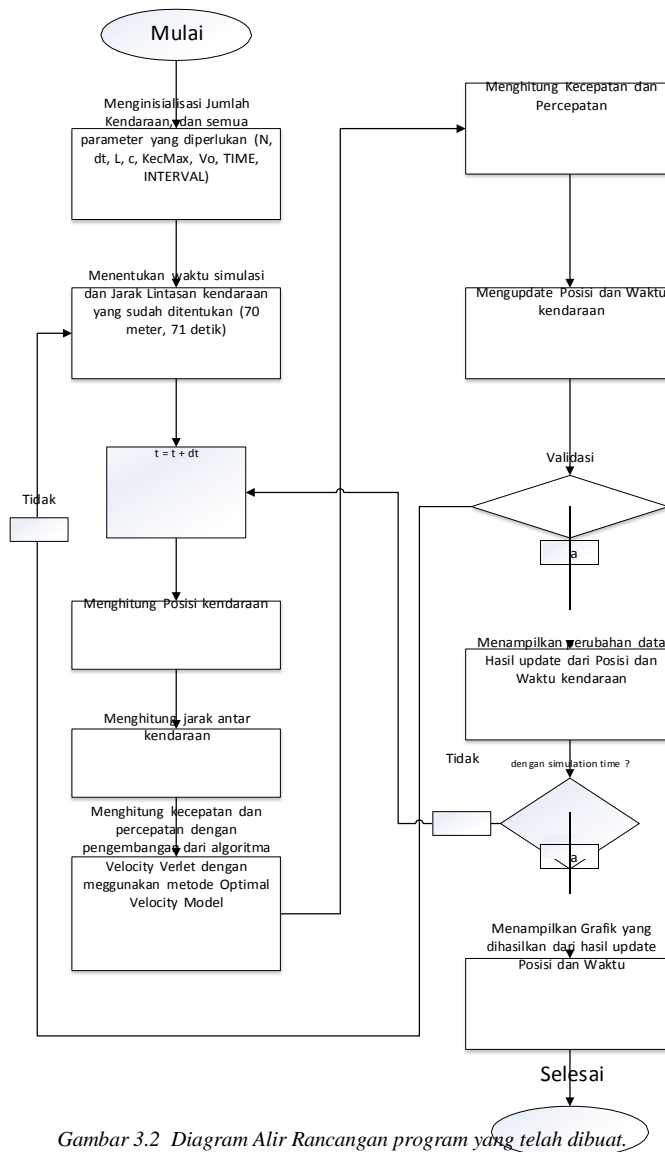
Pada bagian ini menjelaskan mengenai analisis dan perancangan sistem yang telah dilakukan yaitu pembahasan alur atau *flowchart* dari proses *Traffic Dynamics* pada *Car-Following Model* dengan menggunakan metode *Molecular Dynamics* dan pendekatan *Optimal Velocity Model*. Secara garis besar, tugas ini telah menghasilkan suatu sistem yang dapat mengestimasi antar kendaraan agar menghindari terjadinya kecelakaan pada *Car-Following Model* (CFM). Dengan melakukan pendekatan *Optimal Velocity Model* (OVM).

Berikut adalah *flowchart* tahapan proses pada *Optimal Velocity Model* :



Gambar 3.1 Diagram Alir Rancangan Sistem secara umum.

Diagram alir flowchart program (lihat gambar yang telah dibuat



Gambar 3.2 Diagram Alir Rancangan program yang telah dibuat.

## 4. Hasil dan Implementasi

### 4.1. Analisis Jarak, Kecepatan dan Waktu Kendaraan

Setelah diperkirakan Jarak, Kecepatan dan Waktu kendaraan yang telah ditentukan sebelumnya dengan Data Kendaraan yang telah diperoleh. Dengan demikian setelah kami menentukan Jarak, Kecepatan dan Waktu kendaraan maka lebih mudah untuk diaplikasikan ke rumus-rumus berikut yang sudah ditentukan sebelumnya.

Gambaran kendaraan yang melintas di jalan tol sebagai berikut :



Gambar 4.1 Gambar Lokasi Lalu Lintas Kendaraan

### 4.2. Penerapan Metode *Optimal Velocity Mode*

#### 4.3.1 Perhitungan Data Kendaraan dalam kondisi Lancar

Pada proses ini dilakukan untuk membandingkan dua kondisi yaitu pada kondisi Lancar dan pada kondisi padat. Hanya waktu saja yang membedakan antara kondisi Lancar dan kondisi padat, pada saat proses pengambilan data yang berupa video Lancar pada hari Sabtu adalah sebanyak 16 kendaraan sedangkan Padat pada hari Minggu adalah sebanyak 22 kendaraan. Dengan keterbatasan alat dan bahan pada saat proses berlangsung dan proses perhitungan maka peneliti dalam menentukan waktu tempuh kendaraan dan kecepatan kendaraan. Namun, percobaan dan penelitian ini dibatasi dengan panjang lintasan pada kedua percobaan itu adalah sepanjang 70 meter dan waktu yang diperlukan 71 detik. Kami merasa bahwa panjang lintasan dan waktu yang sudah ditentukan itu sudah sangat cukup untuk mendapatkan sampel untuk dilakukannya simulasi Iringan Kendaraan dengan menggunakan data riil.

Berikut adalah tabel data kendaraan yang telah diperoleh, yaitu:

Tabel 2 Kondisi Kendaraan Lancar.

T = waktu yg dibutuhkan untuk melintas	X = jarak kendaraan	V = kecepatan(m/s)
3.47	70	20.18
4.14	70	16.90
3.01	70	23.24
2.98	70	23.49
3.56	70	19.68
3.89	70	17.98
3.31	70	21.14
3.74	70	18.74
3.55	70	19.70
3.19	70	21.96
3.10	70	22.57
3.14	70	22.30
4.19	70	16.69
3.77	70	18.58
3.77	70	18.57
3.52	70	19.89

### 4.3.2 Perhitungan Data Kendaraan dalam kondisi Padat

Kondisi Padat disini merupakan kondisi dimana banyaknya kendaraan yang melintas dalam satuan waktu dengan jumlah kendaraan yang lebih padat.

Berikut adalah tabel data kendaraan yang telah diperoleh, yaitu :

Tabel 3 Kondisi Kendaraan Padat.

T = waktu yg dibutuhkan untuk melintas	X = jarak antar waktu	V = kecepatan(m/s)
3.73	70	18.77
3.51	70	19.94
3.28	70	21.34
4.14	70	16.91
4.14	70	16.91
3.28	70	21.34
3.73	70	18.77
3.24	70	21.60
3.46	70	20.23
3.33	70	21.02
3.51	70	19.94
3.86	70	18.13
3.78	70	18.52
3.86	70	18.13
3.77	70	18.57
3.64	70	19.23
3.73	70	18.77
3.33	70	21.02
3.87	70	18.09
3.46	70	20.23
3.96	70	17.68
3.64	70	19.23

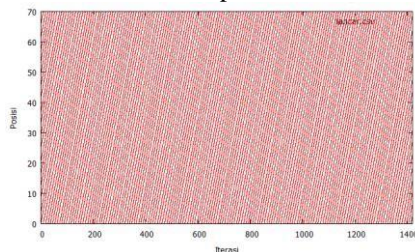
### 4.3. Menampilkan Grafik Trajectory Data dengan menggunakan gnuplot

#### 4.3.1. Grafik Trajectory Posisi kendaraan Lancar

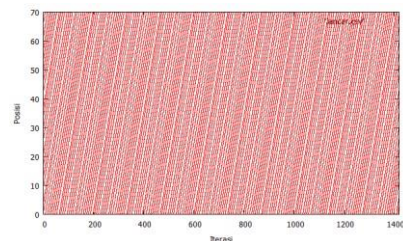
Setelah semua langkah dilakukan dengan cara meperhitung jumlah kendaraan dengan menggunakan metode *Optimal Velocity Model*. Maka langkah selanjutnya adalah dengan menggunakan software yang telah dibuat dan diaplikasikan. Dalam hal ini peneliti melakukan percobaan sebanyak tiga kali yakni pada saat epsilon 1.0, epsilon 2.0 dan pada saat epsilon 3.0.

Berikut ini adalah gambaran visualisasi Grafik Trayektori pada kondisi Lancar :

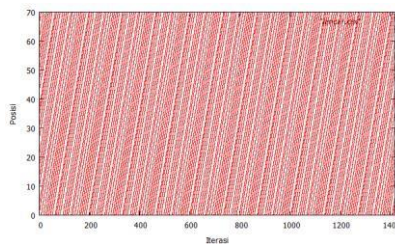
Pada saat eps 1.0



Pada saat eps 2.0



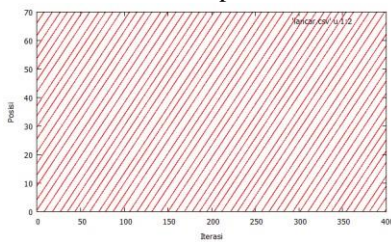
Pada saat eps 3.0



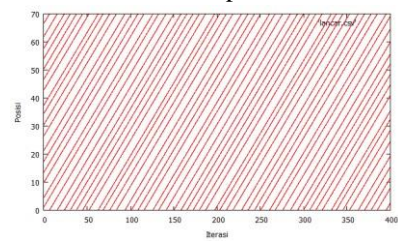
Gambar 4.4 Grafik kondisi kendaraan lancar.

Bisa dilihat bahwa grafik diatas cumup rumit untuk dibaca dan dipahami lebih lanjut, karena waktu diatas adalah waktu simulasi atau waktu prediksi pada saat ingin menggambarkan grafik adalah dengan cara mengakalikan antara waktu sebenarnya dikalikan dengan waktu interval agar mendapatkan waktu yang sesuai *waktu interval  $\times \Delta_t$*  atau waktu iterasinya. Agar terlihat lebih detail setiap langkahnya dan terus berulang sampai mencapai waktu dan posisi yang telah ditentukan sebelumnya.

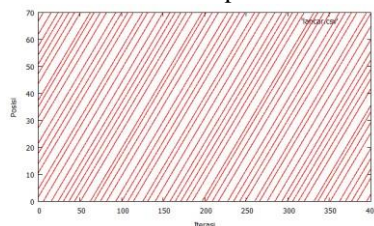
Pada saat eps 1.0



Pada saat eps 2.0



Pada saat eps 3.0



Gambar 4.5 Grafik kondisi kendaraan lancar dibatasi iterasinya.

Pada grafik kali ini yang membedakan dengan grafik sebelumnya diatas adalah pada bagian ini diperkecil batasan waktu pada simulasi agar mudah dalam dicek secara manual. Dengan cara membaginya menjadi 4 bagian pada Posisi atau sumbu Y-nya, (20 meter pertama, 20 meter kedua, 20 meter ketiga dan 10 meter terakhir) sedangkan pada sumbu X-nya hanya tinggal menyesuaikan saja dengan garis yang menghubungkan sumbu X-nya.

Untuk mengetahui kecepatan pada masing-masing kendaraan dilakukan perhitungan sebagai berikut :

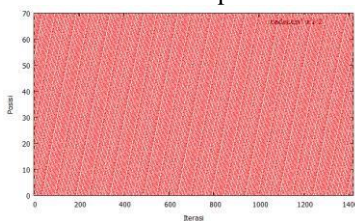
$$V = \frac{(posisi\ akhir - posisi\ awal) * dt}{t\ (waktu\ tempuh)}$$

Dengan demikian maka akan didapatkan kecepatan kendaraannya, satu garis pada grafik trayektori digambarkan seperti urutan kendaraan dan terus melakukan pengulangan hingga iterasinya selesai.

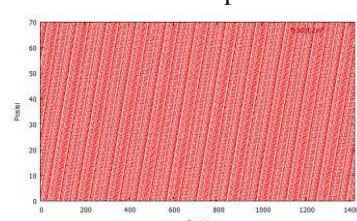
**4.3.2. Grafik Trajectory Posisi kendaraan Padat**

Berdasarkan hasil pengamatan dan perhitungan untuk menggunakan metode ini kami juga mendapatkan banyak sekali hambatan yang terjadi disana pada saat proses pengambilan data riil dengan cara merekam video tersebut dan kemudian setelah itu dilakukan perhitungan dengan menggunakan rumus-rumus yang ada pada metode *Optimal Velocity Model* dengan nilai epsilon yang sudah ditentukan 1.0 atau disebut juga gangguan yang diberikan pada pengendara agar terlihat perubahan kendaraannya.

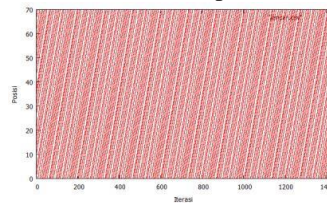
Pada saat eps 1.0



Pada saat eps 2.0



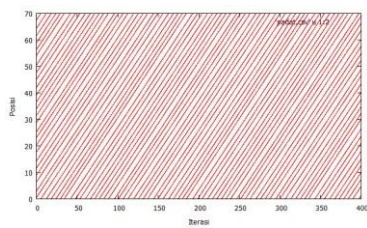
Pada saat eps 3.0



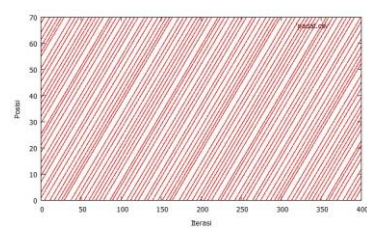
Gambar 4.6 Grafik kondisi kendaraan padat.

Cara berikut ini sedikit berbeda dengan mengubah gangguan yang ada pada program. Hal ini bertujuan agar terlihat perubahan yang lebih signifikan antara percepatan dan perlambatan dalam praktiknya. Apabila pada garis dibawah ini saling maerapat perlu dilakukan perlambatan atau mengerem hal ini bertujuan agar tidak terjadinya tabrakan antar kendaraan yang melintas di Jalan Raya Lalu Lintas, sedangkan apabila pada garis tersebut saling berjauhan maka perlu dilakukannya percepatan atau meng-gas kendaraanya agar mendapatkan hasil kecepatan kendaraan yang optimal atau yang diinginkan agar jarak yang berjauhan tidak terbuang sia-sia oleh si pengendara.

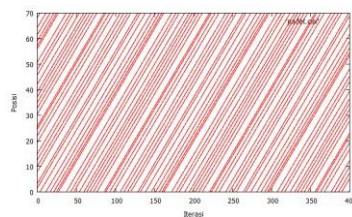
Pada saat eps 1.0



Pada saat eps 2.0



Pada saat eps 3.0



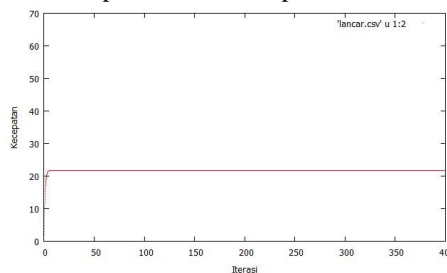
Gambar 4.7 Grafik kondisi kendaraan padat dibatasi iterasinya.

**4.4. Grafik Trajectory Kecepatan Kendaraan**

Dapat kita lihat sebelumnya grafik Trayektori Optimal Velocity Model yang digambarkan grafik berupa Posisi terhadap Waktu. Setelah itu, Pada bagian ini peneliti menampilkan grafik sesuai dengan data yang ada dengan cara menampilkan grafik Kecepatan terhadap Waktu. Dengan membaginya menjadi dua kondisi maka peneliti dapat membandingkan perubahan kondisi kendaraan baik itu pada perubahan posisi kendaraan maupun juga dengan perubahan kecepatan kendaraan.

**4.4.1. Perubahan Kecepatan Kendaraan pada Kondisi Lancar**

Pada bagian ini digambarkan grafik kecepatan kendaraan pada kondisi Lancar atau Lancar :

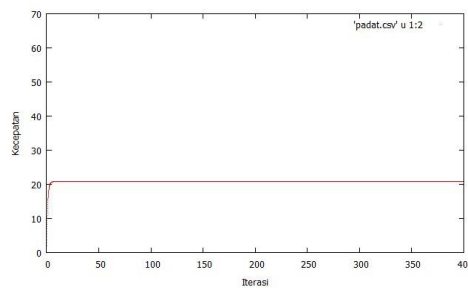


Gambar 4.8 Grafik Kecepatan kendaraan pada kondisi lancar.

**4.4.2. Perubahan Kecepatan Kendaraan pada Kondisi Padat**

Pada bagian ini adalah kondisi sebaliknya daripada kondisi diatas yaitu pada kondisi padat :





Gambar 4.9 Grafik kecepatan kendaraan pada kondisi padat.

## 5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis dan hasil perhitungan yang telah diperoleh adalah :

- (1) Dari grafik trayektori Posisi mobil dan hasil Perhitungan yang telah dilakukan didapatkan kemiringan yang berbeda-beda. Akurasi yang didapat peneliti dari kedua percobaan yang telah dilakukan adalah didapatkan 88,88 %.
- (2) Grafik Trayektori Kecepatan mobil terhadap iterasi (maka didapatkan hasil untuk kondisi kendaraan yang lancar adalah kecepatan rata-rata kendaraan 18,51 m/s Sedangkan untuk kendaraan yang yang padat adalah kecepatan rata-rata kendaraan 18,21 m/s dan hasil dari kedua data tersebut adalah hampir konstan atau memenuhi kondisi *equilibrium*).
- (3) Pada grafik trayektori kecepatan terlihat saat kondisi lancar kecepatan rata-rata mobil mulai stabil pada iterasi ke-3 sedangkan pada kondisi padat mobil pada iterasi ke-5 dan seterusnya sampai dengan iterasinya selesai.

## Daftar Pustaka :

- [1] Y. Sugiyama, "Optimal velocity model for traffic flow," *Computer Physics Communications*, p. 399–401, 1999.
- [2] T. S. Komatsu and S. Shin-ichi, "Kink soliton characterizing traffic congestion," vol. 52, June 1995.
- [3] E.-Z. H, B. Z and B. A , "The Optimal Velocity Traffic Flow Models With Open Boundary," Juny 2004.
- [4] P. J. Jin and B. Ran, "Bi-directional Control Characteristics of General Motors (GM) and Optimal Velocity Car-1 Following Models: Implications for Coordinated Driving in Connected Vehicle Environment," 2012.
- [5] B. M, H. K, N. A, S. A and S. Y, "Dynamics Model of Traffic congestion and numerical simulation," vol. 51, February 1995.
- [6] S. Sawada, "Generalized Force Model Of Traffic Dynamics".
- [7] The University of Edinburgh, "School of GeoSciences," [Online]. Available: <http://www.geos.ed.ac.uk/homes/s0198247/variograms.html>. [Accessed 29 April 2014].
- [8] M. Treiber and A. Kesting, "Traffic Flow Dynamics," *Data, Models and Simulation*, pp. 164-175, 2013.
- [9] M. Bando, K. Hasebe, K. Nakanishi and A. Nakayama, "Analysis of Optimal Velocity Model with Explicit Delay," 12 May 1999.
- [10] C. W. Sauer, G. J. Andersen and A. Saidpour, "CAR FOLLOWING BY OPTICAL PARAMETERS," in *PROCEEDINGS of the Second International Driving Symposium on Human Factors in Driver Assessment, Training and Vehicle Design*.
- [11] T. V. Mathew and V. K. Rao, "Introduction to Transportation Engineering," *Microscopic traffic flow modelling*, pp. 34.1-34.9, 2007.
- [12] D. C. Rapaport, *The Optimal Velocity Traffic Flow Models With Open Boundary*, Cambridge, New York, Melbourne, Madrid, Cape Town, Singapore, São Paulo, 2004.
- [13] T. Martin, A. Hennecke and D. Heilbing, "Microscopic Simulation of Congested Traffic".
- [14] M. Prado, "Optimal Velocity Planning of Wheeled Mobile," February 2007.
- [15] S. Mammam, S. Mammam and H. Haj-Salem, "A MODIFIED OPTIMAL VELOCITY MODEL," 2005.
- [16] B. M, H. K, N. A, S. A and S. A, "Structure Stability of Congestion in Traffic Dynamics," 10 January 1994.