

ANALISIS DAN SIMULASI PEMODELAN CELLULAR AUTOMATA (CA) DAN ALGORITMA OPTIMASI ARTIFICIAL BEE COLONY (ABC) DALAM PENJADWALAN LAMPU LALU LINTAS

Zenfrison Tuah Butarbutar¹, Dede Rohidin², Zk. Abdurahman Baizal³

¹Teknik Informatika, Fakultas Teknik Informatika, Universitas Telkom

Abstrak

Permasalahan kemacetan kerap kali dihubungkan dengan sistem pengaturan lalu lintas. Selama ini, sistem pengatur lalu lintas yang umum digunakan adalah Fixed Time Traffic Light Controller dimana bekerja dalam waktu yang telah ditetapkan terlebih dahulu. Namun metode ini masih menyebabkan kemacetan.

Pada tugas akhir ini dikembangkan suatu sistem yang mampu melakukan optimasi pengatur lampu lalu lintas. Dengan menggunakan metode pemodelan Cellular Automata dan Algoritma Optimasi Artificial Bee Colony dapat diperoleh optimasi waktu tunggu dalam penjadwalan lampu lalu lintas. Semakin optimal waktu tunggu yang dihasilkan oleh sistem maka dapat dikatakan akurasi sistem semakin tinggi.

Sistem simulasi ini mensimulasikan data pada satu persimpangan lalu lintas dengan 3 ruas antrian kendaraan. Dari proses simulasi didapatkan bahwa sistem Adaptive/Actuated Traffic Light ABC dapat mengurangi panjang antrian kendaraan (queue length) berkisar 92.3% hingga 95% dibandingkan dengan fixed time, waktu tunggu (waiting time) berkisar 10% hingga 54.7% dibandingkan dengan fixed time dan kepadatan kendaraan (vehicle density) berkisar 65% hingga 95% dibandingkan dengan fixed time.

Kata Kunci : kemacetan, lalu lintas, fixed time traffic light controller, cellular automata, artificial bee colony algorithm

Abstract

The traffic jam problem is considered and related with traffic light management. Recent years, traffic light controller system commonly used is Fixed Time Traffic Light Controller. This controller is previously set based on fixed time. Every road intersection is served with the same green light time although the density is not in the same level. This could lead into very heavy traffic jam and road congestion.

In this thesis, a simulation system has been developed in order to optimize Fixed Time Traffic Light Controller. A modeling method, Cellular Automata, has been designed to model the road intersection and vehicles. Optimization Algorithm, Artificial Bee Colony, has also been implemented in order to optimize the waiting time of each vehicles in a single road intersection. A better result on waiting time and vehicle queue in each road intersection would reflect the accuracy and performance of this simulation system.

This simulation system simulates data in a single road intersection with three parts of road. The testing process shows that this system could reduce vehicle density until 95% , waiting time until 54.7% and queue length until 95% in a comparison with fixed time traffic light controller.

Keywords : traffic jam, road intersection, fixed time traffic light controller, cellular automata, artificial bee colony algorithm

1. Pendahuluan

1.1. Latar Belakang

Kemacetan lalu lintas merupakan satu masalah yang sering terjadi di kota-kota besar dan negara-negara besar. Di daerah ibukota Indonesia, Jakarta, misalnya kemacetan sering terjadi diakibatkan belum adanya sistem lalu lintas yang dapat menjadwalkan lampu lalu lintas sesuai dengan volume kendaraan yang ada di lalu lintas saat itu. Sistem pengatur lampu lalu lintas di Indonesia selama ini adalah berbasis *Fixed Time Traffic Light Controller* yang mengendalikan lampu lalu lintas berdasarkan durasi dan urutan nyala lampunya sudah ditetapkan sebelumnya. Disini lampu lalu lintas tidak mampu menyesuaikan kondisi di lalu lintas sebenarnya yang tingkat kepadatannya berubah-ubah secara dinamis. Penentuan durasi lampu lalu lintas akan diatur berdasarkan jam sibuk (*peak hour*), misalnya pagi, siang dan sore. Kemacetan akibat sistem lampu lalu lintas yang kurang handal seperti hal di atas dapat diperbaiki dengan suatu metode optimasi penjadwalan.

Untuk melakukan penjadwalan lampu lalu lintas dibutuhkan suatu algoritma optimisasi penjadwalan yang efektif. Tugas Akhir ini mensimulasikan *Artificial Bee Colony Algorithm* (Algoritma ABC) dengan menggunakan pemodelan Cellular Automata yang pada akhirnya bertujuan untuk proses optimasi penjadwalan lampu lalu lintas. Pemilihan pemodelan Cellular Automata dilakukan dengan pertimbangan Cellular Automata dapat mensimulasikan kendaraan yang masuk ke dalam simulasi lalu lintas. Cellular Automata banyak diimplementasikan untuk pemodelan dan aproksimasi. Cellular Automata telah digunakan untuk memodelkan proses fisika seperti penyebaran panas, aliran fluida dan pertumbuhan salju. Cellular Automata juga digunakan untuk memodelkan proses biologi seperti pertumbuhan sel dan organisme. Dalam ilmu komputer dan matematika, Cellular Automata telah digunakan sebagai pembangkit bilangan random, kriptografi dan alternatif aproksimasi selain menggunakan persamaan diferensial [10]. Cellular Automata juga dapat digunakan untuk memodelkan arus lalu lintas kendaraan di jalan raya. Arus lalu lintas dapat dimodelkan dengan cellular automata berdasarkan teori *car following* [10] yang menunjukkan bahwa kecepatan kendaraan di jalan raya pada suatu saat dapat dianggap hanya dipengaruhi oleh kecepatan kendaraan itu dan keadaan jalan di sekitarnya pada saat sebelumnya. Hal ini sesuai dengan karakteristik Cellular Automata dimana status suatu sel pada suatu saat hanya ditentukan oleh status sel itu sendiri dan status sel-sel tetangganya pada saat sebelumnya [10]. Kelebihan model arus lalu lintas dengan cellular automata antara lain:

- Model arus lalu lintas dengan Cellular Automata merupakan model pendekatan mikroskopis. Disini arus lalu lintas dipandang sebagai hasil interaksi antara individu-individu kendaraan yang ada pada ruas jalan sehingga tingkah laku arus lalu lintas pada ruas jalan tersebut diperoleh dengan menghitung pergerakan masing-masing kendaraan. Dalam model ini, dapat dirancang simulasi lalu lintas dengan ketelitian tinggi dan dapat memperhitungkan pergerakan masing-masing kendaraan.

Algoritma ABC adalah algoritma optimisasi yang berdasarkan kecerdasan perilaku mencari makanan daripada kumpulan lebah madu (*honey bee swarm*) [3]. Masalah alokasi durasi lampu hijau dalam simulasi suatu persimpangan lalu lintas dapat dikaitkan dengan masalah alokasi kawanan lebah madu saat mencari makanan. Alokasi durasi lampu hijau juga merupakan masalah yang dapat diselesaikan dengan Algoritma ABC ini. Hal ini akan dibahas lebih lanjut dalam Tugas Akhir ini.

1.2. Perumusan Masalah

Banyak faktor yang dapat menjadi faktor efisien tidaknya suatu penjadwalan lampu lalu lintas. Optimumnya waktu layanan (*service time*) yaitu lama kendaraan dapat dilayani ditandai dengan durasi lampu hijau yang diberikan oleh *Traffic Light Controller*. *Waiting time* akan menunjukkan waktu tunggu suatu kendaraan yang juga turut mempengaruhi performansi sistem pengatur lampu lalu lintas. Maka dari penjabaran diatas dibuat perumusan masalah:

1. Bagaimana cara kerja Cellular Automata dan *Artificial Bee Colony Algorithm* dalam membangun sistem simulasi penjadwalan lampu lalu lintas yang optimal?
2. Bagaimana *Artificial Bee Colony Algorithm* mampu melakukan optimasi waktu tunggu dalam simulasi penjadwalan lampu lalu lintas?
3. Bagaimana mengetahui performansi sistem simulasi penjadwalan lampu lalu lintas yang telah dibangun?

1.3. Batasan Masalah

Dalam melakukan implementasi Tugas Akhir ini, ditemukan beberapa batasan yaitu:

1. Sistem pengatur lalu lintas disini hanya terbatas pada simulasi dan tidak menangani input dan pengolahan gambar.
2. Pemodelan simulasi yang digunakan adalah *Cellular Automata* dan optimasi penjadwalan dengan *Artificial Bee Colony Algorithm*.
3. Sistem hanya mensimulasikan persimpangan dengan 3 ruas jalan dengan jarak yang sama dari pusat persimpangan lampu lalu lintas.
4. Sistem hanya mensimulasikan persimpangan dengan 2 lajur di tiap ruas jalan.
5. Simulasi hanya mensimulasikan maksimum 40 kendaraan tiap ruas jalan.
6. Simulasi hanya menampilkan grafik akhir simulasi berupa kepadatan kendaraan (*density*), jumlah kendaraan (*number of vehicles*) dan waktu tunggu total tiap ruas (*waiting time*)
7. Simulasi belum bersifat *real time*, data-data yang disimulasikan merupakan data-data pembangkitan antrian oleh Cellular Automata. Agar dapat bekerja secara *real time*, hal yang harus diperhatikan adalah masalah *delay* antara komunikasi *controller*.
8. Durasi lampu hijau yang digunakan dalam skenario pengujian mengikuti preferensi wawancara terhadap petugas *Traffic Management Center* (TMC). Durasi lampu hijau minimum adalah 15 detik dan maksimum 70 detik.
9. Parameter performansi dari sistem optimasi penjadwalan lalu lintas ini diukur melalui rata-rata waktu tunggu (*average waiting time*) dan standar waktu tunggu (*standard of waiting time*).

1.4. Tujuan

Adapun tujuan penelitian Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Merancang dan membangun sistem simulasi penjadwalan lalu lintas dengan menggunakan pemodelan *Cellular Automata* (CA) dan Algoritma Optimasi *Artificial Bee Colony* (ABC).
2. Menganalisis parameter algoritma Optimasi *Artificial Bee Colony* dalam mengoptimasi durasi hijau dan optimasi waktu tunggu rata-rata kendaraan.
3. Melakukan analisis komparatif performansi *Fixed Time Traffic Light Controller* dengan sistem simulasi penjadwalan lampu lalu lintas menggunakan *Artificial Bee Colony Algorithm* ini dalam hal optimasi waktu tunggu.

1.5. Metodologi Penyelesaian Masalah

Metode yang digunakan dalam menyelesaikan tugas akhir ini adalah:

1. Studi literatur
 - a. Pencarian referensi dan sumber-sumber yang berhubungan dengan penjadwalan menggunakan Algoritma Optimasi *Artificial Bee Colony* (ABC).
 - b. Pencarian referensi dan sumber-sumber yang berhubungan dengan pemodelan *Cellular Automata* (CA).

2. Pembangunan model

Pada tahap ini akan dilakukan analisis model sistem yang akan dibuat dan perancangan sistem yaitu menentukan data dan fungsi-fungsi yang harus disediakan oleh sistem dan juga menentukan langkah-langkah yang digunakan untuk melakukan perbandingan.

Tahapan pembangunan model simulasi meliputi:

- a. Data antrian kendaraan akan dibangkitkan secara acak dengan menggunakan pemodelan *Cellular Automata* (CA).
 - b. Data kepadatan dan antrian kendaraan pada ruas persimpangan menjadi objek yang dioptimasi *ABC Algorithm* untuk menentukan durasi hijau yang optimal bagi tiap ruas jalan dan yang dapat mengurangi waktu tunggu.
 - c. Membangun desain dari perangkat lunak menggunakan pendekatan struktural.
3. Implementasi sistem

Mengimplementasikan perancangan sistem menjadi perangkat lunak untuk simulasi penjadwalan lampu lalu lintas menggunakan Matlab R2008a.

4. Pengujian sistem

Pengujian sistem dilakukan untuk mengetahui apakah sistem simulasi yang telah dibangun memenuhi tujuan pembangunan sistem atau tidak. Pengujian sistem dilakukan dengan menguji parameter-parameter dalam algoritma yang membangun sistem penjadwalan lampu lalu lintas. Kemudian dilanjutkan dengan pengujian performansi sistem simulasi penjadwalan lampu lalu lintas yang telah dibangun.

5. Analisis hasil

Analisis hasil dilakukan pada hasil-hasil yang telah diperoleh dari pengujian sistem dan berdasarkan rumusan masalah yang telah ditentukan. Analisis hasil dilakukan dengan menganalisa pengaruh parameter-parameter dalam algoritma dalam optimasi sistem simulasi penjadwalan lampu lalu lintas berdasarkan hasil observasi. Kemudian dilanjutkan dengan menganalisa performansi sistem simulasi penjadwalan lalu lintas yang telah dibangun.

6. Pembuatan laporan

Tahap terakhir adalah pelaporan tugas akhir meliputi hasil analisa dan deskripsi proses pengerjaan pembangunan sistem simulasi penjadwalan lalu lintas. Laporan ini dapat berfungsi sebagai dokumentasi pembuatan sistem guna pengembangan berikutnya (*future work*). Sistematika penulisan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Bagian Pendahuluan

Bagian ini berisikan latar belakang pengangkatan masalah kemacetan lalu lintas untuk diselesaikan dalam tugas akhir ini. Disertakan juga perumusan masalah, tujuan tugas akhir, batasan masalah serta metodologi penyelesaian masalah tugas akhir ini.

2. Bagian Landasan Teori

Bagian ini berisikan landasan teori yang digunakan guna memperkuat justifikasi dan argumen dalam tugas akhir ini. Disini dijabarkan cukup detail mengenai konsep pemodelan menggunakan Cellular Automata. Serta dijabarkan penggunaan algoritma optimasi *Artificial Bee Colony* dalam proses optimasi waktu tunggu dalam simulasi penjadwalan lampu lalu lintas pada tugas akhir ini.

3. Bagian Analisis Perancangan dan Implementasi

Bagian ini berisikan analisis kebutuhan sistem serta perancangan pembuatan sistem simulasi optimasi penjadwalan lampu lalu lintas. Perancangan

4. Bagian Pengujian dan Analisis

Bagian ini berisikan skenario pengujian simulasi penjadwalan lampu lalu lintas dengan dua tipe skenario, yaitu: *Fixed-time* dan *Adaptive Artificial Bee Colony*. Kemudian dilakukan analisis berdasarkan jumlah kendaraan, waktu tunggu tiap kendaraan dan kepadatan ruas jalan yang dihasilkan oleh sistem simulasi penjadwalan lampu lalu lintas yang sudah dibangun.

5. Bagian Kesimpulan dan Saran

Bagian ini berisikan kesimpulan hasil pengujian dan analisis pada tugas akhir ini. Lalu disampaikan pula saran-saran agar tugas akhir ini dapat dikembangkan ke depannya dan harapan agar konsep tugas akhir ini dapat diujikan dan diimplementasikan pada sistem pengaturan lampu lalu lintas yang sebenarnya.

5. Kesimpulan dan Saran

5.1. Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diperoleh dari tugas akhir ini adalah:

1. Parameter algoritma yang paling optimal dalam *Artificial Bee Colony* yang diimplementasikan untuk mensimulasikan perempatan lalu lintas yaitu:
 - *Colony Size* : 20
 - *Max Cycle* : 4
 - *Limit* : 90
 - *Lowerbound* : 0
 - *Upperbound* : 2
 - *Run time* : 1
 - *Dim* : 1
2. *Best case* pada ABC menghasilkan *avg. waiting time* 39.4 detik dan standar deviasi 8.8 detik. *Worst case* pada ABC menghasilkan *avg. waiting time* 47.6 detik dan standar deviasi 9.8 detik. Tidak terjadi jarak (*range*) yang terlalu jauh pada rata-rata waktu tunggu dan standar deviasinya.
3. *Best case* pada *Fixed-Time* menghasilkan *avg. waiting time* 42.4 detik dan standar deviasi 9 detik. *Worst case* pada *Fixed-Time* menghasilkan *avg. waiting time* 101 detik dan standar deviasi 15 detik. Terjadi jarak (*range*) yang terlalu jauh pada rata-rata waktu tunggu dan standar deviasinya.
4. *Actuated Traffic Light* ABC dapat mengurangi panjang antrian kendaraan (*queue length*) berkisar 92.3% hingga 95% dibandingkan dengan *fixed time*.
5. *Actuated Traffic Light* ABC dapat mengurangi waktu tunggu (*waiting time*) berkisar 10% hingga 54.7% dibandingkan dengan *fixed time*.
6. *Actuated Traffic Light* ABC dapat mengurangi kepadatan kendaraan (*vehicle density*) berkisar 65% hingga 95% dibandingkan dengan *fixed time*.

5.2. Saran

Saran yang dapat digunakan untuk pengembangan penelitian selanjutnya adalah:

1. Diperlukan adanya pengembangan lebih lanjut dengan menggunakan metode pemodelan dan algoritma optimasi yang lebih baik.
2. Diperlukan adanya analisis lebih lanjut mengenai waktu tunggu yang dihasilkan sistem simulasi yang sudah dibangun.
3. Diperlukan pengembangan selanjutnya untuk persimpangan dengan beberapa ruas kemungkinan ruas jalan.
4. Agar dapat diimplementasikan di perempatan lalu lintas sebenarnya, ada beberapa hal yang perlu diperhatikan, misalnya pengembangan batasan jumlah kendaraan dalam perempatan lalu lintas dan sisi *real time* dari aplikasi, yaitu komunikasi antara *controller* yang akan mengalami *delay*. Sehingga perlu untuk diperhatikan lebih lanjut.

Daftar Pustaka

- [1] Hải, Hoàng. 2005. *Traffic Light Control Department of Automatic Control*. Hanoi University of Technology.
- [2] Hatzi, Ourania. 2007. *A Cellular Automata Framework for Studying Expandable Traffic Flow Models*. Harokopio University of Athens.
- [3] Karaboga, D. 2005. *An Idea Based on Honey Bee Swarm for Numerical Optimization*, Technical Report-TR06, Erciyes University, Engineering Faculty, Computer Engineering Department, Turkey.
- [4] Nagel K and Schreckenberg M. 1992. *A Cellular Automaton Model for Freeway Traffic*. J. Physique I 2 pp. 2221-2229.
- [5] Nanez, Pablo and N. Quijano. 2008. *Honey Bee Social Foraging for Urban Traffic Control*. Submitted for Conference Publication, American Control Conference (ACC) 2009.
- [6] Pham, D.T. 2007. *Manufacturing cell formation using the Bees Algorithm*. Proceedings of innovative production machines and systems virtual conference, Cardiff, UK.
- [7] Quijano N., Passino K.M. 2007. *Honey Bee Social Foraging Algorithms for Resource Allocation Theory and Application*. Proceedings of the American control conference (pp. 3389-3394), New York: USA.
- [8] Suyanto. 2007. *Artificial Intelligence Searching, Reasoning, Planning and Learning*. Bandung : Informatika.
- [9] Suyanto. 2010. *Algoritma Optimasi, Deterministik atau Probabilistik*, Bandung, Indonesia, ISBN:978-979-756-665-4
- [10] Syalim, Amril. 2003. *Cellular Automata: Pemodelan dan Implementasi Paralel untuk Simulasi Arus Lalulintas Kendaraan di Jalan Raya*. Fasilkom UI.
- [11] Teodorovic, D, Dell'Orco, M. 2005. *Bee Colony Optimization-A Cooperative Learning Approach to Complex Transportation Problems*, Advanced OR and AI Methods in Transportation, Proceedings of the 10th Meeting of the EURO Working Group on Transportation, pp. 51-60.
- [12] Teodorovic, D, Dell'Orco, M. 2008. *Mitigating Traffic Congestion: Solving the Ride-Matching Problem by Bee Colony Optimization*. Transportation Planning and Technology.
- [13] Von Neumann, J. 1966. *The Theory of self reproducing automata*. Edited by A. Burks. Univ. of Illinois Press: Urbana.
- [14] Wiering, Marco. 2004. *Intelligent Traffic Light Control*. Institute Of Information And Computing Sciences, Utrecht University Technical Report UU-CS-2004-029.
- [15] Wolfram, Stephen. 1982. *Cellular Automata as Simple Self-Organizing Systems*. Caltech preprint CALT-. 68-938.