

SIMULASI LALU LINTAS SIMPANG EMPAT MENGGUNAKAN CELLULAR AUTOMATA DENGAN SISTEM KONTROL BERBASIS ARTIFICIAL NEURAL NETWORK PADA MATLAB

Muhammad Khoirul Anam Al Mufti^{*)}, Wahyudi, dan Budi Setiyono

Departemen Teknik Elektro, Universitas Diponegoro
Jln. Prof. Sudharto, SH, Kampus UNDIP Tembalang, Semarang 50275, Indonesia

^{*)} E-mail: anam.almufti@gmail.com

Abstrak

Pembahasan solusi untuk persoalan kemacetan telah menjadi suatu fokus penelitian yang penting. Namun kondisi lalu lintas yang kompleks dan sulitnya untuk bereksperimen pada lalu lintas secara langsung juga menjadi pertimbangan dalam penerapan pemecahan kemacetan. Salah satu solusinya yaitu dengan mensimulasikan model lalu lintas, sehingga teori dapat diaplikasikan secara mudah dan efektif sebelum diterapkan di dunia nyata. Model yang dibuat pada penelitian ini menggunakan *Cellular Automata* (CA) model Nagel-Schreckenberg (NS model) untuk menggambarkan lalu lintas Simpang Bangkong dan Simpang Milo di Kota Semarang yang memiliki lampu lalu lintas *fixed time*. Kemudian model diimplementasikan pengaturan lampu lalu lintas adaptif berbasis *Artificial Neural Network* (ANN) sebagai solusi kemacetan dengan *output* durasi lampu hijau yang dapat menyesuaikan kondisi kepadatan jalan. Model *fixed time* yang telah dibuat dibandingkan dengan data volume lalu lintas selama 1 jam lapangan memiliki *error* terkecil 3% dan terbesar 15% pada jam puncak siang, dan *error* 3%-18% pada jam puncak sore. ANN yang diusulkan dapat mengurangi kemacetan dilihat dari berkurangnya kepadatan jalan rata-rata di jalan terpadat yaitu jalan utara Simpang Milo yang bernilai 0,3578 untuk model ANN dibanding model *fixed time* 0,5446 saat jam puncak siang, sedangkan saat jam puncak sore model ANN 0,4630 dibanding model *fixed time* 0,6780.

Kata kunci: simulasi lalu lintas, Cellular Automata, NS model, Artificial Neural Network.

Abstract

Traffic congestion solution is an important research focus. However, complexity of the traffic and difficulties to experiment directly are something to consider before implementing ideas. The solution is to design traffic simulation, so the ideas can be implemented and tested before applied to the real world. In this paper, Cellular Automata (CA) Nagel-Schreckenberg model (NS model) is used to simulate traffic of Bangkong Intersection and Milo Intersection in Semarang City which has fixed time traffic light. Then, Artificial Neural Network (ANN) is used to design adaptive traffic light that can adjust green time duration based on traffic density. Fixed time model shows the smallest error of 3% and the biggest is 15% in the peak hour of noon, and error of 3%-15% in the afternoon peak hour when compared to real traffic volume. ANN based traffic light controller can reduce the average traffic density that is shown by the densest road that is the north road of Milo Intersection, with value of 0.3578 compared to the fixed time model of 0.5446 at noon peak hour, and value of 0.4630 for ANN model compared to 0.6780 for fixed time model in the afternoon peak hour.

Keywords: traffic simulation, Cellular Automata, NS model, Artificial Neural Network.

1. Pendahuluan

Simulasi lalu lintas dibuat dengan tujuan salah satunya untuk memodelkan sifat lalu lintas sesuai dengan kerumitannya. Bergantung pada tingkat detailnya, model lalu lintas diklasifikasikan menjadi makroskopis, *mesoscopic*, dan mikroskopis [1][2]. Model makroskopis menggambarkan arus lalu lintas secara keseluruhan, misalnya arus lalu lintas dapat digambarkan dengan histogram atau dengan nilai skalar dari laju, kepadatan, dan kecepatan arus [2]. Model mikroskopis merincikan detail

kendaraan individual berdasarkan perilaku pengendaranya dan interaksinya, sedangkan *mesoscopic* berada di antara kedua model. Akan tetapi, untuk membuat simulasi lalu lintas yang sesuai kondisi nyata tidak mudah karena sifat lalu lintas pada dasarnya kompleks.

Model lalu lintas salah satunya dapat dibuat menggunakan *Cellular Automata* (CA) [3][4] dengan pengembangan yang paling umum yaitu *elementary cellular automata* [5] dan model Nagel-Schreckenberg (NS model) [6]. NS model diperkenalkan oleh fisikawan Jerman Kai Nagel dan Michael Schreckenberg pada tahun 1992. Model stokastik

diskrit tersebut dapat menyimulasikan lalu lintas jalan raya yang sesuai dengan kenyataan dengan memperhatikan kemungkinan pengendara untuk menambah dan mengurangi kecepatan, dan bahkan memodelkan kemacetan. Model ini baik untuk menggambarkan kondisi nyata lalu lintas sesuai dengan sifatnya.

NS model banyak dikembangkan hingga saat ini tidak hanya untuk jalan raya, tapi juga memodelkan lalu lintas persimpangan yang menghubungkan 4 jalan ortogonal [7][8]. Persimpangan tersebut membentuk perempatan simpang bersinyal dengan aturan lampu lalu lintas sederhana [7], perempatan tanpa lampu lalu lintas [7][8], dan bundaran [8]. Model tersebut walaupun dapat menyimulasikan lalu lintas persimpangan sederhana, tetapi kemacetan dapat terjadi ketika kepadatan kendaraan meningkat. Sesuai dengan kondisi nyata, kemacetan dapat dikarenakan pengaturan lalu lintas persimpangan yang kurang efisien. Untuk itu, pengaturan lampu lalu lintas persimpangan yang lebih efisien seperti penggunaan sistem kontrol berbasis *Artificial Neural Network* (ANN) [9]-[11] dapat diaplikasikan.

ANN dirancang untuk merespons kondisi pengaturan lampu lalu lintas seperti jika lalu lintas diatur oleh manusia. Misalnya, petugas lalu lintas akan mengatur jalannya lalu lintas sesuai dengan prioritas jalan mana yang perlu didahulukan, sehingga antrean kendaraan cenderung sama di seluruh jalan. Lancarnya lalu lintas tentunya akan berbeda jika dibanding dengan pengaturan lalu lintas konvensional yang pada kondisi tertentu tidak bekerja efisien. Seperti contohnya ketika durasi lampu hijau berlebihan padahal antrean kendaraan telah kosong dan lamanya durasi lampu merah di jalan lain yang mengakibatkan panjangnya antrean kendaraan.

ANN akan diaplikasikan pada simulasi yang dibuat menggunakan CA untuk memodelkan lalu lintas sesuai sifat esensialnya pada Simpang Bangkong dan Simpang Milo di Kota Semarang. Data hasil simulasi lalu lintas akan dibandingkan dengan data yang diperoleh di kedua persimpangan yang menghubungkan Jalan MT. Haryono, Jalan Brigjend Katamso, Jalan Dr. Cipto, dan Jalan Kompol Maksu [12]. Kemudian ANN dirancang untuk dapat menyesuaikan durasi lampu hijau dengan kepadatan lalu lintas di persimpangan.

2. Metode

Perancangan simulasi diawali dengan pengolahan data kondisi *existing* sehingga dapat dipakai dalam pembuatan model. Kemudian model lalu lintas dirancang dengan CA dan pengaturan lampu lalu lintas *fixed time*. Setelah itu, ANN dirancang sebagai dasar pengaturan lampu lalu lintas. Simulasi lalu lintas ini dirancang menggunakan MATLAB, yang dipilih karena kemudahannya dalam pemrograman, mengolah matriks dan data, dan fasilitas *toolbox* ANN yang mumpuni.

2.1. Pengolahan Data

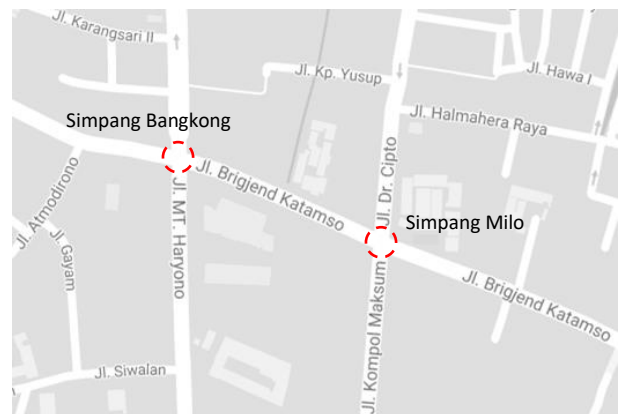
Data kondisi *existing* berupa volume lalu lintas jam puncak siang (12:00-13:00) dan jam puncak sore (16:00-17:00) [12] dengan satuan kendaraan/5 menit disetarakan menjadi satuan mobil penumpang (smp) dengan cara mengalikannya dengan ekuivalen mobil penumpang (emp) atau faktor pengali sesuai jenis kendaraannya ditunjukkan pada Tabel 1 [13]. Konversi satuan menjadi smp bertujuan untuk menyetarakan berbagai jenis kendaraan menjadi mobil sehingga pada model lalu lintas 1 sel mewakili 1 mobil dengan panjang 5,5 meter.

Tabel 1. Nilai emp sesuai jenis kendaraan.

Jenis Kendaraan	Nilai emp
Low Vehicle (LV)	1,0
Heavy Vehicle (HV)	1,3
Motorcycle (MC)	0,2
Unmotorized (UM)	0

2.2. Perancangan Model Lalu Lintas

Simulasi lalu lintas dibuat menggunakan CA untuk menggambarkan ruang dan waktu diskrit. Ruang dibagi menjadi sel dan setiap sel diperbarui setiap iterasi merepresentasikan ada atau tidaknya mobil di jalan. Setiap sel mewakili 1 smp yang dapat merepresentasikan 1 mobil atau 5 motor, sehingga dapat menyederhanakan simulasi gerak berbagai kendaraan yang kompleks pada jalan. Model yang dibuat menggambarkan lalu lintas Simpang Bangkong dan Simpang Milo seperti pada Gambar 1 [14].



Gambar 1. Peta area Simpang Bangkong dan Simpang Milo.

2.2.1. Ruas Jalan

Setiap ruas jalan dalam model memiliki panjang yang disamakan yaitu 220 meter diambil dari panjang jalan yang menghubungkan kedua persimpangan yang bertujuan untuk menormalisasi perhitungan parameter di semua jalan. Lebar setiap ruas jalan dianggap sama dan memuat 1 smp atau 1 sel sehingga setiap ruas jalan sepanjang 220 meter memuat maksimal 40 sel.

Ruas jalan yang terhubung pada masing-masing persimpangan berjumlah total 29. Ruas-ruas jalan tersebut pada perancangan dikelompokkan menjadi 2 berdasarkan arah dari persimpangan, yaitu: jalan menuju persimpangan yang berjumlah 15, dan jalan dari persimpangan berjumlah 14; dengan 4 ruas jalan penghubung kedua persimpangan. Tiap sel di dalam ruas jalan memiliki status ada tidaknya mobil dan kecepatan $\{0,1,2,3,4\}$, sehingga jika mobil bergerak 1 sel per detik, maka sama dengan 5,5 m/s atau 19,8 Km/jam dan kecepatan maksimal tiap mobil yaitu 4 sel per detik atau sama dengan 79,2 Km/jam. Gerak pindah ruas jalan hanya dimodelkan untuk jalan penghubung. Simulasi gerak mobil di ruas jalan menggunakan CA NS model dengan tahapan setiap iterasi yaitu [6]:

1. Akselerasi yaitu jika kecepatan v dari suatu mobil lebih kecil dari v_{max} , dan jika jarak terhadap mobil setelahnya lebih besar dari $v + 1$, maka kecepatan ditambah satu $[v := v + 1]$ ditunjukkan pada persamaan (1).

$$\text{IF } v(i) \neq v_{max} \text{ THEN } v(i) := v(i) + 1 \quad (1)$$
2. Deselerasi (karena mobil lain) yaitu jika suatu mobil pada tempat i melihat mobil lain pada $i + gap$ (dengan $gap < v$), maka mobil itu mengurangi kecepatannya sesuai jaraknya (gap) yang ditunjukkan pada persamaan (2).

$$\text{IF } v(i) > gap(i) \text{ THEN } v(i) := gap(i) \quad (2)$$
3. *Randomization* yaitu kecepatan setiap mobil (jika lebih dari nol) dikurangi satu $[v := v - 1]$ dengan probabilitas p yang ditunjukkan pada persamaan (3).

$$\text{IF } v(i) > 0 \text{ AND } rand < p(i) \text{ THEN } v(i) := v(i) - 1 \quad (3)$$
4. Perpindahan mobil yaitu setiap mobil maju sesuai kecepatannya.

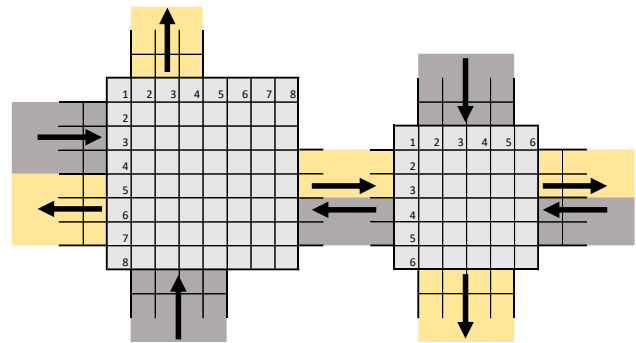
2.2.2. Persimpangan

Persimpangan pada simulasi dibuat untuk memindahkan mobil dari lengan jalan asalnya ke lengan jalan tujuan sesuai arah laju mobil. Dimensi persimpangan dibuat dengan mempertimbangkan jumlah ruas jalan yang terhubung sebagai pendekatan untuk pemodelan dari kondisi nyata persimpangan yang rumit.

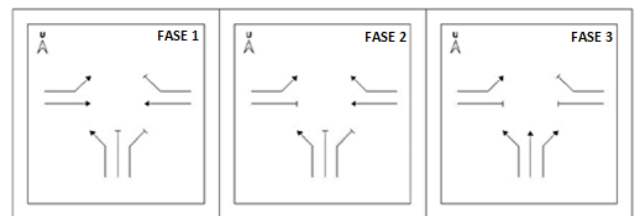
Simpang Bangkong dan Simpang Milo dalam model ditunjukkan pada Gambar 2.

Simpang Bangkong terbuat dari jaring-jaring berisi 64 sel yang membentuk matriks 8×8 . Simpang Bangkong menghubungkan 9 ruas jalan menuju persimpangan dan 8 ruas jalan keluar dari persimpangan. Simpang Milo berisi 36 sel yang membentuk matriks 6×6 . Simpang Milo menghubungkan masing-masing 8 ruas jalan menuju persimpangan dan jalan dari persimpangan. Setiap sel di dalam persimpangan memiliki status {"jalan kosong", "lurus", "belok kanan", "belok kiri"}, status kecepatan tiap mobil $\{0,1,2,3\}$, dan status indeks asal mobil {"barat", "selatan", "timur", "utara",0}. Lampu lalu lintas kedua

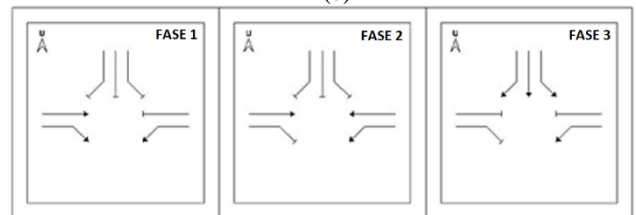
persimpangan memiliki pengaturan *fixed time* [12] dan fase nyala lampu ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 2. Simpang Bangkong dan Simpang Milo dalam model simulasi.



(a) Diagram fase Simpang Bangkong.

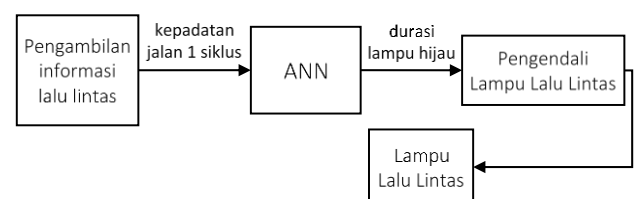


(b) Diagram fase Simpang Milo.

Gambar 3. Diagram fase nyala lampu persimpangan.

2.3. Perancangan ANN

Model lalu lintas yang dibuat memiliki 2 persimpangan dengan pengendali lampu lalu lintas masing-masing, sehingga setiap persimpangan dirancang memiliki ANN sendiri. ANN tidak mengendalikan lampu lalu lintas secara langsung, tetapi *output* ANN yang dirancang berupa durasi lampu hijau diberikan untuk pengendali lampu lalu lintas. Model pengendalian lampu lalu lintas ANN ditunjukkan pada Gambar 4 dan dirancang menggunakan MATLAB.



Gambar 4. Struktur pengaturan lampu lalu lintas ANN.

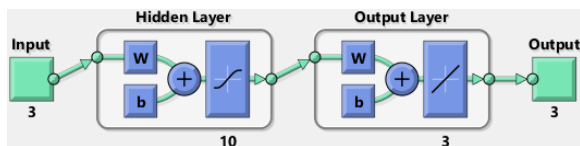
ANN dirancang memiliki *input* rata-rata kepadatan jalan dalam 1 siklus lampu dan *output* durasi lampu hijau untuk pengaturan lampu siklus selanjutnya. Kepadatan jalan (k) menjelaskan jumlah kendaraan (n) per panjang jalan (ΔX), yang diformulasikan pada persamaan (4).

$$k = \frac{n}{\Delta X} \quad (4)$$

Kepadatan jalan digunakan untuk menyetarakan parameter penilaian setiap jalan (bernilai dari 0 hingga 1) karena jumlah ruas jalan yang tidak sama sehingga jumlah maksimal mobil setiap lengan jalan berbeda. Kepadatan rata-rata dihitung saat akhir siklus sehingga ANN dan pengendali lampu dapat menerima informasi untuk *timing* siklus berikutnya.

2.3.1. Struktur ANN

ANN untuk Simpang Bangkong dan Simpang Milo sama-sama memiliki *input layer*, *output layer*, dan *hidden layer* yang masing-masing berjumlah 1 seperti pada Gambar 5 dan dirancang dengan *Neural Network Toolbox* MATLAB.



Gambar 5. Struktur ANN rancangan.

Input layer dan *output layer* masing-masing memiliki 3 neuron yang mewakili 3 lengan jalan yang menuju persimpangan, sedangkan *hidden layer* memiliki 10 neuron sesuai pengaturan *default toolbox*.

2.3.2. Training ANN

Training data set dapat dibuat dari hasil simulasi *fixed time* terdiri atas 120 sampel. Data *input* berisi data kepadatan jalan rata-rata 1 siklus dan data target *output* adalah penyesuaian durasi lampu hijaunya.

Target *output* yang diusulkan didasari dari durasi lampu *fixed time existing*, sehingga pemberian nilai target *output* untuk data set dapat dilakukan dengan melihat respons lalu lintas hasil simulasi. Jika hasil simulasi *fixed time* menunjukkan lalu lintas lancar yang dijelaskan dengan kepadatan jalan stabil, maka target *output* dapat secara mudah dicari dengan membandingkan *input* dan kepadatan jalan rata-rata acuannya. Akan tetapi, jika terjadi kemacetan yang ditunjukkan dengan kepadatan jalan meningkat, maka perlu dicari nilai acuan untuk target *output*. Solusinya dengan cara menghitung nilai kepadatan jalan sesuai durasi lampu hijau dan durasi lampu merahnya karena pada pengaturan lampu lalu lintas yang baik, jumlah mobil masuk saat lampu merah (kepadatan bertambah) sama dengan jumlah mobil melaju saat lampu hijau (kepadatan berkurang).

Target *output* juga dirancang memiliki batas durasi lampu hijau maksimal dengan mempertimbangkan kondisi *fixed time* untuk menentukannya. Jika lampu hijau menyala terlalu lama, maka durasi lampu merah juga bertambah lama sehingga antrean kendaraan bisa menjadi sangat panjang dan membuat jalan penuh. Target *output* yang melebihi batas maksimalnya akan diberikan nilai batasnya. Durasi lampu hijau maksimal dan durasi siklus maksimal yang diusulkan dijelaskan pada Tabel 2 untuk jam puncak siang dan Tabel 3 untuk jam puncak sore. Pemberian nilai durasi lampu hijau maksimal didasari oleh pengembangan pengaturan durasi lampu *fixed time existing* dan juga bertujuan untuk menyamakan durasi siklus maksimal kedua persimpangan dan kedua jam puncak.

Tabel 2. Durasi lampu lalu lintas ANN jam puncak siang.

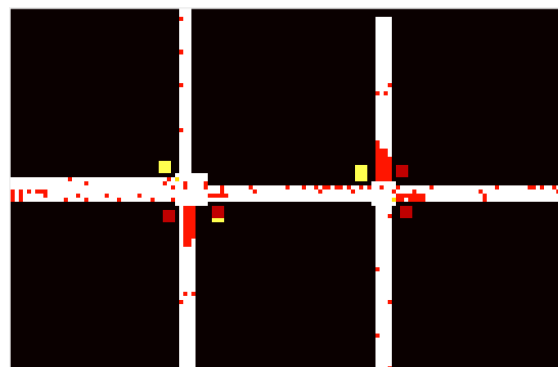
Persimpangan	Fase Kuning	All Red	Hijau Fixed Time	Hijau Maksimal	Siklus Fixed Time	Siklus Maksimal
Simpang Bangkong	1	2	2	36	40	157
	2	2	2	55	144	
	3	2	2	41	45	
Simpang Milo	1	2	2	36	40	157
	2	2	2	62	143	
	3	2	2	33	40	

Tabel 3. Durasi lampu lalu lintas ANN jam puncak sore.

Persimpangan	Fase Kuning	All Red	Hijau Fixed Time	Hijau Maksimal	Siklus Fixed Time	Siklus Maksimal
Simpang Bangkong	1	2	2	46	50	157
	2	2	2	55	144	
	3	2	2	31	40	
Simpang Milo	1	2	2	47	50	157
	2	2	2	54	143	
	3	2	2	30	40	

3. Hasil dan Analisa

Model lalu lintas yang dibuat ditunjukkan pada Gambar 6 dengan arah utara ada di sisi atas. Warna hitam mewakili ruang tidak terpakai di sisi jalan. Ruas jalan berwarna putih menjelaskan jalan kosong, dan merah berarti ada mobil. Lampu lalu lintas digambarkan dengan kotak berwarna di sisi kiri jalan yang bersangkutan.



Gambar 6. Tampilan keseluruhan model lalu lintas.

3.1. Hasil Simulasi Model Fixed Time

Simulasi dilakukan 5 kali untuk mendapatkan variasi data. Hasil simulasi dibandingkan dengan data volume lalu lintas nyata untuk mengetahui yaitu selisih nilai total smp dalam 1 jam. Pada jam puncak siang, model *fixed time* memiliki nilai *error* rata-rata terkecil 3% dan terbesar 15% ditunjukkan pada Tabel 4, sedangkan pada jam puncak sore *error* rata-rata bernilai 3%-18%. Hasil tersebut menjelaskan model *fixed time* yang dirancang menggunakan CA dapat menggambarkan lalu lintas nyata secara keseluruhan dengan baik dengan perbedaan dapat dikarenakan faktor-faktor lalu lintas yang detail dan rumit sehingga tidak mampu dimodelkan dengan rancangan yang diusulkan.

Tabel 4. Nilai *error* model *fixed time* siang.

Persimpangan	Pendekat	Error Data ke					Error Rata-rata
		1	2	3	4	5	
Simpang Bangkok	Barat	9%	10%	9%	15%	15%	12%
	Timur	12%	15%	13%	19%	17%	15%
	Selatan	4%	2%	4%	3%	4%	3%
	Utara	10%	10%	9%	11%	10%	10%
Simpang Milo	Barat	11%	13%	12%	18%	18%	14%
	Timur	3%	4%	4%	9%	9%	6%

Tabel 5. Nilai *error* model *fixed time* sore.

Persimpangan	Pendekat	Error Data ke					Error Rata-rata
		1	2	3	4	5	
Simpang Bangkok	Barat	7%	7%	10%	8%	7%	8%
	Timur	3%	3%	5%	6%	1%	3%
	Selatan	15%	15%	15%	15%	16%	15%
	Utara	18%	18%	19%	18%	18%	18%
Simpang Milo	Barat	18%	17%	18%	17%	17%	17%
	Timur	2%	4%	2%	2%	6%	3%

3.2. Hasil Simulasi Model ANN

Simulasi model lalu lintas model ANN dilakukan 5 kali untuk mengetahui variasi kinerja yang dapat dilihat dari perbandingan rata-rata total smp dalam 1 jam dengan model *fixed time* jam puncak siang pada Tabel 6 dan jam puncak sore pada Tabel 7.

Pada jam puncak siang, total smp antara kedua model bernilai sama di setiap jalan kecuali jalan utara Simpang Milo dengan model ANN bernilai lebih besar, sedangkan pada jam puncak sore model ANN menunjukkan nilai yang relatif lebih besar di semua jalan, sehingga secara keseluruhan ANN dapat menambah jumlah mobil yang melaju di kedua persimpangan.

Perbandingan model ANN dan model *fixed time* juga ditinjau dari nilai rata-rata kepadatan jalan dalam 1 jam dari 5 kali simulasi yang dilakukan untuk jam puncak siang pada Tabel 8 dan jam puncak sore pada Tabel 9.

Tabel 6. Perbandingan rata-rata total smp dalam 1 jam puncak siang model ANN dan *fixed time*.

Persimpangan	Pendekat	Total smp ANN	Total smp Fixed Time
Simpang Bangkok	Barat	1140	1126
	Timur	1433	1460
	Selatan	1557	1572
Simpang Milo	Utara	1725	1590
	Barat	1102	1107
	Timur	1396	1392

Tabel 7. Perbandingan rata-rata total smp dalam 1 jam puncak sore model ANN dan *fixed time*.

Persimpangan	Pendekat	Total smp ANN	Total smp Fixed Time
Simpang Bangkok	Barat	1601	1564
	Timur	1519	1542
	Selatan	1570	1474
	Utara	1683	1451
Simpang Milo	Barat	1508	1445
	Timur	1504	1555

Tabel 8. Perbandingan rata-rata kepadatan jalan dalam 1 jam puncak siang model ANN dan *fixed time*.

Persimpangan	Pendekat	Rata-rata ANN	Rata-rata Fixed Time
Simpang Bangkok	Barat	0,1825	0,1792
	Selatan	0,2135	0,2108
	Timur	0,2202	0,2035
Simpang Milo	Barat	0,1831	0,1418
	Timur	0,2104	0,1767
	Utara	0,3578	0,5446

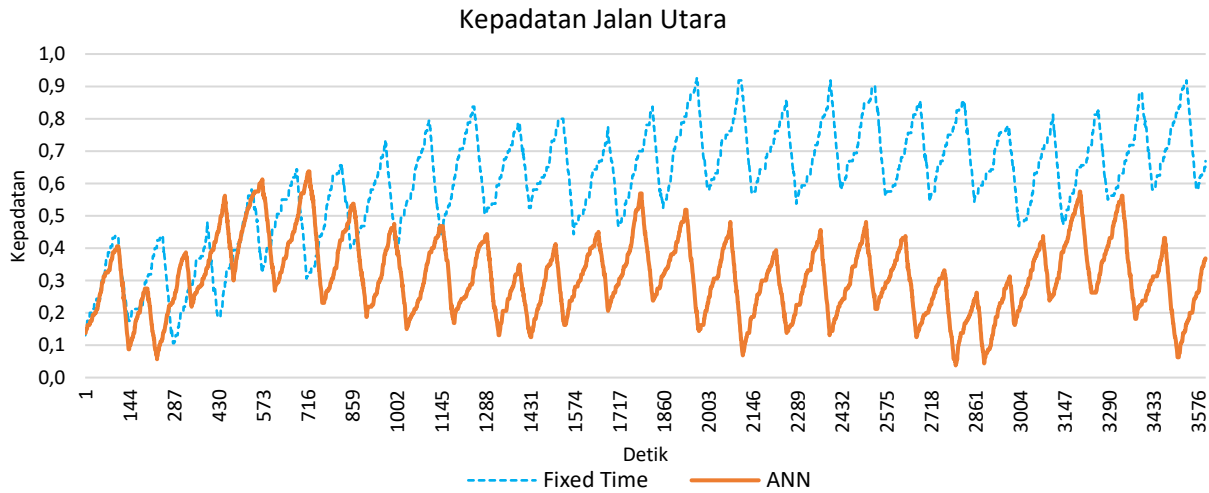
Tabel 9. Perbandingan rata-rata kepadatan jalan dalam 1 jam puncak sore model ANN dan *fixed time*.

Persimpangan	Pendekat	Rata-rata ANN	Rata-rata Fixed Time
Simpang Bangkok	Barat	0,5263	0,5679
	Selatan	0,4423	0,6622
	Timur	0,2460	0,2113
Simpang Milo	Barat	0,2773	0,1615
	Timur	0,4370	0,3726
	Utara	0,4630	0,6780

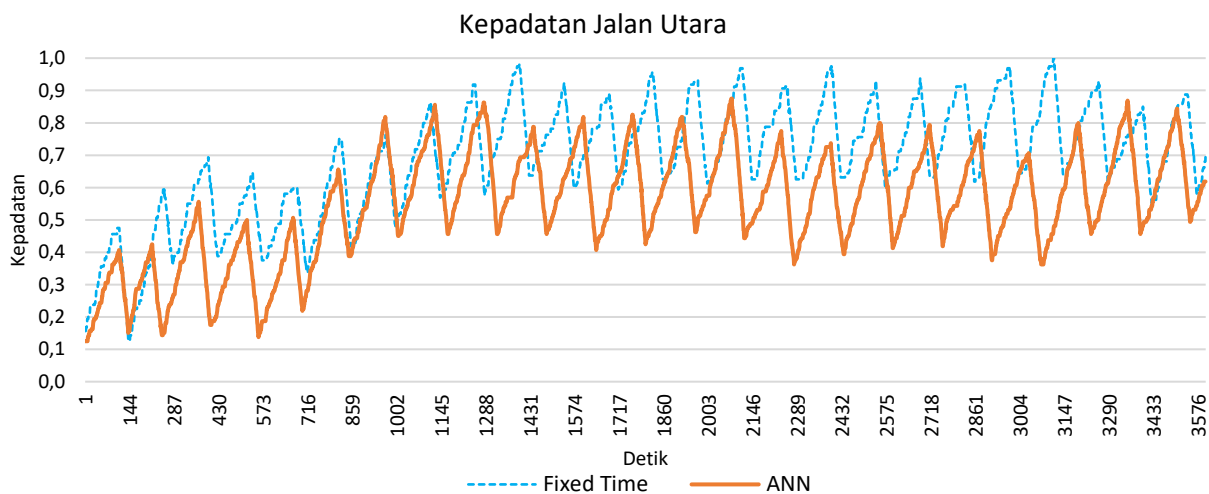
Pada jam puncak siang, model ANN pada Simpang Bangkok terlihat sama seperti model *fixed time* dengan semua jalan pendekat memiliki kepadatan jalan rata-rata bernilai di sekitar 0,2, sedangkan pada Simpang Milo model ANN dapat mengurangi kepadatan jalan signifikan yang berarti jalan lebih lancar dibanding *fixed time*. Pada jam puncak sore, model ANN memiliki nilai kepadatan jalan rata-rata lebih kecil daripada model *fixed time* di jalan barat dan jalan selatan Simpang Bangkok, dan jalan utara Simpang Milo. Jalan penghubung antara kedua persimpangan pada model ANN memiliki nilai kepadatan jalan rata-rata lebih besar daripada model *fixed time* yang dapat dikarenakan durasi siklus lampu kedua

persimpangan yang tidak sama, sehingga terkadang mobil berhenti di jalan tersebut berbeda dengan model *fixed time* yang biasanya mobil bisa melaju tanpa berhenti karena durasi siklus kedua persimpangan yang sama. Jalan timur Simpang Milo pada model ANN juga memiliki nilai kepadatan jalan yang lebih besar daripada model *fixed time* yang mungkin dikarenakan pengurangan durasi lampu

hijau di jalan tersebut untuk memberikan durasi tambahan di jalan lain yang lebih penuh, seperti jalan utara. Perbandingan kepadatan jalan antara model ANN dan *fixed time* paling terlihat ada pada jalan utara Simpang Milo jam puncak siang ditunjukkan pada Gambar 7 dan jam puncak sore pada Gambar 8.



Gambar 7. Grafik kepadatan jalan utara Simpang Milo dalam 1 jam puncak siang.



Gambar 8. Grafik kepadatan jalan utara Simpang Milo dalam 1 jam puncak sore.

Pada jam puncak siang, model ANN dapat mengurangi kepadatan jalan signifikan dibanding model *fixed time* yang mendekati nilai 1. Pada jam puncak sore, kepadatan jalan tinggi karena lalu lintas yang ramai dengan model ANN terlihat lebih kecil daripada model *fixed time*.

4. Kesimpulan

Model yang dibuat untuk menggambarkan lalu lintas Simpang Bangkong dan Simpang Milo secara garis besar bekerja dengan baik ditunjukkan oleh nilai *error* terhadap data volume lalu lintas nyata pada jam puncak siang

sebesar 3%-15% dan jam puncak sore 3%-18% yang dapat dikarenakan sifat lalu lintas nyata yang kompleks. Selanjutnya, ANN dirancang untuk solusi kemacetan dan terbukti dapat melancarkan lalu lintas yang dilihat dari berkurangnya nilai kepadatan jalan rata-rata. Jalan penghubung kedua persimpangan pada model ANN cenderung lebih tinggi karena efek durasi setiap siklus yang berbeda-beda, sehingga penelitian ini dapat dikembangkan dengan merancang durasi setiap siklus kedua persimpangan yang selalu sama. ANN juga dapat dirancang dan diteliti kinerjanya untuk persimpangan lain. Selain itu, penelitian terhadap jumlah *hidden layer* dan

neuronnya serta pembuatan data set lain juga dapat dilakukan.

Referensi

- [1]. T. V. Mathew, "Microscopic Traffic Simulation," dalam *Transportation Systems Engineering*, IIT Bombay, 2014.
- [2]. E. Lieberman dan A. K. Rathi, "Traffic Simulation," dalam *Traffic Flow Theory*, 1997, ch. 10.
- [3]. D. Ding, "Modeling and simulation of highway traffic using a cellular automaton approach," Project Report, Uppsala University, 2011.
- [4]. A. Riski, "Simulasi arus lalu lintas dengan cellular automata," Skripsi, Jurusan Matematika, Universitas Jember, Jember, Indonesia, 2011
- [5]. D. A. Rosenblueth dan C. Gershenson, "A model of city traffic based on elementary cellular automata," *Complex Systems*, vol 19, hal. 305-322, 2011.
- [6]. K. Nagel dan M. Schreckenberg, "A cellular automaton model for freeway traffic," *J.Phys I France*, vol. 2, hal. 2221-2229, Des. 1992.
- [7]. L. Piskorec dan S. Soller, "Traffic dynamics - the effectiveness of signalisation and the priority to the right simulated with cellular automata," Project Report, ETH Zurich, 2009.
- [8]. T. Wood dan B. Bucheler, "Traffic dynamics - traffic flow comparison of roundabouts and crossroads," Project Report, ETH Zurich, 2010.
- [9]. M. Turcanik, "Traffic lights control using recurrent neural networks," *Science & Military*, vol. 2, 2009.
- [10]. T. Royani, J. Haddadnia, dan M. Alipoor, "Control of traffic light in isolated intersections using fuzzy neural network and genetic algorithm," *International Journal of Computer and Electrical Engineering*, vol. 5, no. 1, Feb. 2013.
- [11]. S. V. Anfilets dan V. N. Shuts, "Artificial neural networks for adaptive management traffic light objects at the intersection" dalam *Proc. 10th International Conf. Reliability and Statistics in Transportation and Communication (RelStat'10)*, 2010, Riga, Latvia, 2010 hal 457-462.
- [12]. R. A. Dewayani dan L. Taraditya, "Evaluasi kinerja lalu lintas akibat penerapan sistem satu arah di Jalan MT. Haryono Kota Semarang (studi kasus: Simpang Sompok, Simpang Bangkong, dan Simpang Milo)," Laporan Tugas Akhir, Departemen Teknik Sipil, Universitas Diponegoro, Semarang, Indonesia, 2017.
- [13]. Direktorat Jendral Bina Marga, *Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI)*, Jakarta, Indonesia: Bina Karya, 1997.
- [14]. Google LLC., Mountain View, CA, USA, *Google maps Semarang*. (2017). Tersedia: <https://goo.gl/nJVSBb>. Diakses: Okt. 10 2017.