

Pengaturan Lampu Lalu Lintas dengan Simulasi Monte Carlo Studi Kasus : Perempatan Daerah Dago – Bandung

Iryanto¹, Dinan Andiwijayakusuma²

¹ Teknik Informatika Politeknik Negeri Indramayu, Jl. Raya Lohbener Lama No. 08 Indramayu 45252

² Laboratorium Komputasi Nuklir-Pusat Teknologi dan Keselamatan Reaktor Nuklir, Badan Tenaga Nuklir Nasional (PTKRN-BATAN), Kawasan PUSPIPTEK Gd.80 Serpong - Tangerang Selatan, Banten 15310

E-mail : iryanto.math@yahoo.com¹, dinan@batan.go.id²

Abstrak

Salah satu daerah yang sering menjadi sumber kemacetan adalah persimpangan jalan. Oleh karena itu, sangatlah penting untuk mengaturnya. Setiap persimpangan di jalan utama biasanya memiliki lampu lalu lintas. Setiap siklus lampu lalu lintas, merah, hijau, dan jingga, akan mempengaruhi kondisi lalu lintas. Siklus ini memiliki peranan penting dalam meningkatkan atau menurunkan masalah lalu lintas tersebut. Pengaturan lampu lalu lintas yang tidak tepat dapat menyebabkan kemacetan. Hal ini membuat pengaturan suatu persimpangan jalan dapat berbeda dengan pengaturan persimpangan jalan lainnya. Dengan demikian pengaturan lampu lalu lintas di persimpangan jalan sangat diperlukan. Dengan simulasi kita dapat mengetahui apakah aturan yang ada sudah tepat atau belum, jika belum aturan tersebut belum tepat, kita dapat mengubahnya berdasarkan hasil simulasi. Dua model yang berbeda digunakan dalam penelitian ini yaitu skema pengaturan lampu lalu lintas dengan dan tanpa parameter kopling. Dalam model dengan parameter kopling, rata-rata kedatangan kendaraan digunakan sebagai parameter kopling tersebut. Hasil simulasi menunjukkan bahwa model dengan parameter kopling lebih baik dibandingkan dengan model tanpa parameter kopling.

Kata Kunci: Pengaturan lampu lalu lintas, simulasi monte carlo, kopling-model pengaturan lampu lalu lintas

Abstract

One of the areas that often become a source of traffic jam is road intersection. So it will be crucial to manage the intersection. Every intersection in main road is common to have traffic light and every cycle of the lamp, red, green and orange, will influence the traffic. The traffic cycle will have significant role to decrease or increase effects of the problem. Inappropriate regulation for the intersection can cause traffic jam or a heavy traffic jam in the road. Sometimes every intersection needs different rule based on the traffic condition. Therefore is truly needed to manage the traffic light in every intersection. With the simulation we can know whether the rule for the traffic light has appropriated to the intersection's traffic condition. If the rule is not optimal yet, we can change the rule with the optimal one. In the research, two methods are used, using coupling parameter and without coupling parameter. Average of vehicle Arrival in each intersection is used as coupling parameter. As its result, using coupling parameter is better than without using coupling parameter.

Keywords: Traffic light management, monte carlo simulation, traffic light management with coupling parameter

I. PENDAHULUAN

Ketergantungan manusia terhadap sarana transportasi terus meningkat. Bahkan hampir seluruh aktivitas manusia membutuhkan sarana transportasi, terlebih lagi transportasi darat. Terkadang hal ini dapat menyebabkan masalah-masalah lalu lintas. Di zaman sekarang kemacetan lalu lintas menjadi hal yang umum terjadi di kota-kota besar seperti kota Bandung.

Salah satu daerah yang menjadi sumber kemacetan lalu lintas adalah persimpangan jalan. Sehingga pengaturan persimpangan jalan menjadi sangat penting.

Setiap persimpangan jalan umumnya memiliki lampu lalu lintas dan setiap siklus lampu lalu lintas, merah, hijau, dan jingga, mempengaruhi kondisi lalu lintas. Lampu lalu lintas dapat meningkatkan atau menurunkan masalah lalu lintas tersebut.

Hal ini membuat pengaturan suatu persimpangan jalan dapat berbeda dengan pengaturan persimpangan jalan lainnya. Dengan demikian pengaturan lampu lalu lintas di persimpangan jalan sangat diperlukan untuk mengatasi kemacetan tersebut. Simulasi dapat membantu mengetahui apakah aturan yang ada sudah tepat atau

belum. Jika aturan tersebut belum tepat, kita dapat mengubahnya berdasarkan hasil simulasi.

Model yang digunakan dalam pengaturan lampu lalu lintas dapat berdasarkan estimasi intensitas lalu lintas dan logika fuzzy [1], dimana siklus lampu lalu lintas berubah-ubah mengikuti intensitas kendaraan. Sahar Araghi dkk. [2] menggunakan kecerdasan buatan seperti metode *Q-learning*, *neural network*, dan logika fuzzy. Dalam hal ini pemodelan dengan logika fuzzy menunjukkan hasil yang lebih baik dibandingkan dengan kedua metode lainnya. Hal tersebut juga diperkuat oleh Collotta [3] yang juga menggunakan logika fuzzy dalam menyelesaikan masalah pengaturan lampu lalu lintas.

Model fluida stokastik juga digunakan dalam memodelkan permasalahan ini seperti yang dituliskan oleh Panayiotou dkk. [4]. Wen mengembangkan sistem pakar pengaturan lampu lalu lintas secara dinamis dan otomatis untuk mengatur siklus lampu lalu lintas yang optimal sesuai dengan keadaan lalu lintas [5]. Selain metode-metode tersebut, algoritma genetika juga digunakan dalam pemodelan lalu lintas seperti yang dipaparkan oleh Rahmani [6]. Penggunaan simulasi Monte Carlo dalam pemodelan lalu lintas juga dibahas oleh Alperovich dkk. [7]. Metode Monte Carlo juga digunakan dalam masalah pengaturan satu persimpangan jalan seperti yang dipaparkan oleh Subajili [8].

Dalam penelitian ini, simulasi pengaturan lampu lalu lintas dilakukan menggunakan metode Monte Carlo dengan studi kasus lima persimpangan jalan di sekitar jalan Dago, Bandung yaitu persimpangan jalan di daerah Dago, Balubur, Dago - Cikapayang, Dago - Sulanjana, Surapati, dan Diponegoro.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui jumlah antrian kendaraan pada persimpangan jalan tersebut untuk setiap siklus lampu lalu lintas untuk mendapatkan kondisi lalu lintas yang lancar. Tujuan berikutnya adalah untuk mengetahui pengaruh suatu persimpangan jalan terhadap persimpangan jalan yang lainnya.

Dalam penelitian ini beberapa batasan masalah digunakan, diantaranya adalah:

- I. Siklus lampu lalu lintas terdiri dari dua siklus, merah dan hijau, dalam hal ini siklus lampu jingga diabaikan
- II. Simulasi dilakukan untuk jalan utama. Dalam hal ini lalu lintas di jalan-jalan kecil diabaikan dengan asumsi pengaruh lalu lintas dari jalan-jalan kecil tersebut sudah dihitung pada siklus kedatangan kendaraan di jalan utama
- III. Simulasi dilakukan dan diamati hanya pada persimpangan jalan. Artinya setelah kendaraan melewati persimpangan jalan, kendaraan tersebut berada di luar domain komputasi yang dilakukan.

II. METODE MONTE CARLO

2.1 Prosedur Umum Metode Monte Carlo

Salah satu metode komputasi yang berbasis pengulangan penggunaan sampel acak adalah metode Monte Carlo. Metode ini juga dikenal dengan istilah percobaan Monte Carlo. Penjelasan umum mengenai penggunaan sampling acak ini juga dibahas oleh

Metropolis dkk. [9]. Banyak prosedur/pola yang dapat digunakan dalam metode ini, namun secara umum prosedur metode Monte Carlo dapat dituliskan sebagai berikut :

1. Definisikan domain komputasi
2. Bangkitkan bilangan acak dengan distribusi tertentu
3. Hitung nilai fungsi objektif
4. Kelompokkan hasil tersebut [10]

Dalam penelitian ini, metode Monte Carlo digunakan untuk membangkitkan kedatangan kendaraan pada persimpangan jalan dan menentukan arah kendaraan ketika meninggalkan persimpangan jalan.

2.2 Pengaturan Lampu Lalu lintas

Perhitungan antrian kendaraan pada setiap persimpangan jalan dapat dilakukan secara terpisah untuk setiap siklus lampu. Dalam hal ini, digunakan siklus merah dan siklus hijau. Setiap persimpangan terdapat 4 jalan dengan dua lampu lalu lintas dengan kondisi : ketika siklus lampu lalu lintas di jalan pertama dan ketiga adalah siklus merah maka siklus lampu lalu lintas di jalan-jalan lain adalah siklus hijau dan begitu juga sebaliknya.

Berikut adalah notasi-notasi yang digunakan dalam model :

$Arrival_i$: jumlah kedatangan kendaraan di jalan ke-i pada waktu t pada persimpangan jalan dengan interval waktu tertentu.

RQ_i : jumlah antrian kendaraan di jalan ke-i pada persimpangan jalan pada akhir siklus merah pada siklus ke-j.

GQ_i : jumlah antrian kendaraan di jalan ke-i pada persimpangan jalan pada akhir siklus hijau pada siklus ke-j.

RC : interval waktu siklus merah pada jalan pertama dan ketiga atau interval waktu siklus hijau pada jalan kedua dan ketiga.

GC : interval waktu siklus hijau pada jalan pertama dan ketiga atau interval waktu siklus merah pada jalan kedua dan ketiga.

$Cross_i$: jumlah kendaraan yang dapat melintasi persimpangan jalan dari jalan ke-i pada interval tersebut.

$Density_i$: jumlah total kendaraan pada persimpangan jalan di jalan ke-i pada interval tersebut.

$Leftturn$: aturan spesial dimana kendaraan dapat belok kiri langsung ketika siklus merah.

Secara umum pengaturan lampu lalu lintas dapat dituliskan ke dalam prosedur berikut ini :

Input : RC , GC , $Cross_i$

Output : $Density$, RQ , GC untuk setiap jalan pada persimpangan jalan

Prosedur :

1. Bangkitkan kedatangan kendaraan di setiap jalan masing-masing persimpangan jalan dengan distribusi tertentu.
2. Tetapkan nilai awal RQ dan GQ di setiap jalan pada persimpangan tersebut.
3. Hitung $Density$, RQ dan GC masing-masing jalan untuk siklus merah dan siklus hijau.
4. Cetak *output*.
5. Berhenti.

III. PERSIMPANGAN JALAN DAGO

3.1 Penyederhanaan Masalah

Pada riset ini simulasi pengaturan lampu lalu lintas untuk lima persimpangan jalan di sekitar jalan Dago, yaitu persimpangan jalan Balubur, Dago-Cikapayang, Dago-Sulanjana, Surapati, dan Diponegoro. Aturan-aturan yang digunakan dalam simulasi ini serupa dengan aturan yang sesungguhnya pada persimpangan-persimpangan jalan tersebut. Adapun gambaran lokasi persimpangan jalan tersebut dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Peta lokasi persimpangan jalan

Beberapa asumsi digunakan untuk menyederhanakan masalah tersebut yaitu lalu lintas di jalan-jalan kecil diabaikan sehingga peta persimpangan jalan menjadi



Gambar 2. Penyederhanaan peta persimpangan jalan

Dengan

- : belok ke kiri secara langsung.
- : putaran (*U turn*).
- : kendaraan dapat melaju lurus.
- : belok ke kanan mengikuti lampu lalu lintas.

: dilarang belok ke kanan.

Asumsi berikutnya adalah kedatangan kendaraan di setiap persimpangan jalan berdistribusi uniform dengan batas atas (*b*) dan bawah (*a*) yang spesifik.

3.2. Algoritma Model

Dengan asumsi-asumsi yang digunakan, algoritma yang diusulkan untuk menyelesaikan masalah di atas dengan metode Monte Carlo.

3.2.1 Algoritma untuk Model tanpa Parameter Kopting

Pada model ini notifikasi model yang digunakan sama seperti pada pembahasan sebelumnya. Kondisi awal siklus lampu lalu lintas adalah merah. Pada kondisi ini probabilitas kendaraan yang belok ke kiri, kanan, atau melaju lurus dibangkitkan secara acak dengan distribusi uniform. Jumlah kendaraan yang berpengaruh pada persimpangan jalan selanjutnya digunakan sebagai kedatangan tambahan pada persimpangan selanjutnya.

Dengan kondisi-kondisi tersebut diperoleh algoritma sebagai berikut :

Input : RC, GC, *Cross*, *Leftturn* untuk masing-masing jalan pada masing-masing persimpangan jalan

Output : *Density*, RQ, GC untuk setiap jalan pada persimpangan jalan

Prosedur :

1. Bangkitkan kedatangan kendaraan di setiap jalan secara acak dengan distribusi tertentu pada persimpangan jalan tersebut.
2. Tetapkan nilai awal RQ dan GQ untuk masing-masing jalan pada tiap persimpangan jalan.
3. Prosedur merah (*Arrival*, RC, GC, *Cross*, *Leftturn*) untuk persimpangan jalan pertama.
4. Hitung jumlah kendaraan yang memasuki jalan utama pada persimpangan jalan yang saling terhubung.
5. Hitung kedatangan kendaraan baru (*new Arrival*) untuk masing-masing persimpangan jalan dengan jumlah kedatangan tambahan pada poin 4.
6. Prosedur merah (*new Arrival*, RC, GC, *Cross*, *Leftturn*) untuk persimpangan jalan selanjutnya.
7. Cetak *output*.
8. Berhenti.

Sebagai contoh, akan dihitung jumlah kendaraan dari CS1 yang memasuki CS3, lihat Gambar 2. Kendaraan yang dapat memasuki jalan utama di CS3 adalah kendaraan dari jalan ke empat yang belok ke kanan dan kendaraan dari jalan ke dua yang belok ke kiri. Sehingga prosedur perhitungan mengikuti aturan berikut ini :

1. Bangkitkan bilangan acak [0,1] untuk left dan right.
2. Misalkan *p* menyatakan jumlah kendaraan tersebut

$$p = \text{left} * \text{Cross}_2 + \text{right} * \text{Cross}_4,$$

dengan kendala

$$\text{right} + \text{left} + \text{straight} = 1.$$

3. Hitung kedatangan baru, *new Arrival*, untuk jalan pertama CS3 dengan formula $new\ Arrival = Arrival_1 + p$.

3.2.2 Prosedur merah

Adapun prosedur merah adalah sebagai berikut:

1. *while* $t \leq (time/n)$ do step 2-16
2. set $k=0$
3. *while* $k \leq ((R\ C)/n)$ do step 4-7
4. $RQ_1[j] = RQ_1[j] + arrive_1(t) - leftturn;$
 $RQ_3[j] = RQ_3[j] + arrive_3(t) - leftturn;$
5. $GQ_2[j] = GQ_2[j] + arrive_2(t) - Cross_2;$
 $GQ_4[j] = GQ_4[j] + arrive_4(t) - Cross_4;$
if $GQ_2[j] < 0$ (set $GQ_2[j] = 0$);
if $GQ_4[j] < 0$ (set $GQ_4[j] = 0$)
6. $Density_1[t] = RQ_1[j], Density_2[t] = GQ_2[j],$
 $Density_3[t] = RQ_3[j], Density_4[t] = GQ_4[j]$
7. $t = t+1, k = k+1$
8. $GQ_1[j] = RQ_1[j], RQ_2[j] = GQ_2[j],$
 $GQ_3[j] = RQ_3[j], RQ_4[j] = GQ_4[j]$
9. set $k = 0$
10. *while* $k \leq ((GC)/n)$ do step 11-16
11. $GQ_1[j] = GQ_1[j] + arrive_1(t) - Cross_1;$
 $GQ_3[j] = GQ_3[j] + arrive_3(t) - Cross_3;$
if $GQ_1[j] < 0$ (set $GQ_1[j] = 0$);
if $GQ_3[j] < 0$ (set $GQ_3[j] = 0$)
12. $RQ_2[j] = RQ_2[j] + arrive_2(t) - leftturn;$
 $RQ_4[j] = RQ_4[j] + arrive_4(t) - leftturn$
13. $Density_1[t]=RQ_1[j], Density_2[t]=GQ_2[j],$
 $Density_3[t]=RQ_3[j], Density_4[t]=GQ_4[j]$
14. $t = t+1, k = k+1$
15. Set $RQ_1[j+1]=GQ_1[j], GQ_2[j+1]=RQ_2[j],$
 $RQ_3[j+1]=GQ_3[j], GQ_4[j+1]=RQ_4[j]$
16. $j = j+1$

3.2.3 Algoritma untuk Model dengan Parameter Kopling

Pada model ini notifikasi model yang digunakan sama seperti pada pembahasannya sebelumnya. Algoritma yang digunakan juga mirip dengan algoritma pada subbab sebelumnya. Namun pada algoritma ini setiap persimpangan jalan diperlakukan berbeda begitu juga dengan setiap jalannya. Dengan kata lain algoritma pada subbab sebelumnya digunakan untuk persimpangan jalan dengan satu jalan.

Nilai rata-rata kedatangan kendaraan pada setiap persimpangan jalan akan digunakan sebagai parameter kopling untuk persimpangan jalan lain yang terhubung dengan persimpangan jalan tersebut. Pada awal simulasi siklus lampu lalu lintas setiap persimpangan jalan adalah merah.

Dengan kondisi-kondisi tersebut ditetapkan algoritma sebagai berikut :

Input : RC, GC, Cross, Leftturn untuk masing-masing jalan pada masing-masing persimpangan jalan

Output : Density, RQ, GC untuk setiap jalan pada persimpangan jalan

Prosedur :

1. Bangkitkan kedatangan kendaraan di setiap jalan secara acak dengan distribusi tertentu pada persimpangan jalan tersebut.
2. Tetapkan nilai awal RQ dan GQ untuk masing-masing jalan pada tiap persimpangan jalan.
3. Prosedur merah (*Arrival*, RC, GC, Cross, Leftturn) untuk persimpangan jalan pertama.
4. Hitung nilai rata-rata kedatangan di persimpangan jalan pertama.
5. Bangkitkan kedatangan kendaraan untuk persimpangan selanjutnya dengan nilai rata-rata kedatangan tersebut secara acak dengan distribusi tertentu.
6. Prosedur merah (*Arrival*, RC, GC, Cross, leftturn) untuk persimpangan jalan selanjutnya.
7. Cetak *output*.
8. Berhenti.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Model tanpa Kopling Parameter

Di sini simulasi dilakukan dengan menghitung dan mengabaikan pengaruh setiap persimpangan jalan (*p*). Berikut nilai parameter-parameter yang digunakan dalam simulasi ini.

Waktu simulasi = 3600 s, interval = 10 s.

Tabel 1. Persimpangan Balubur

Road	a	b	RC	GC	Cross	Leftum
1	0	0	0	0	0	0
2	4	8	60	60	20	Rand[0,1]*cross
3	5	8	60	60	20	Rand[0,1]*cross
4	5	10	60	60	20	Rand[0,1]*cross

Tabel 2. Persimpangan Dago-Cikapayang

Road	a	b	RC	GC	Cross	Leftum
1	7	12	50	70	25	Rand[0,1]*cross
2	8	12	70	50	20	0
3	8	11	50	70	25	Rand[0,1]*cross
4	4	10	70	50	20	0

Tabel 3. Persimpangan Dago-Sulanjana

Road	a	b	RC	GC	Cross	Leftum
1	6	12	70	50	25	0
2	8	10	50	70	20	Rand[0,1]*cross
3	7	13	70	50	25	Rand[0,1]*cross
4	7	10	50	70	20	0

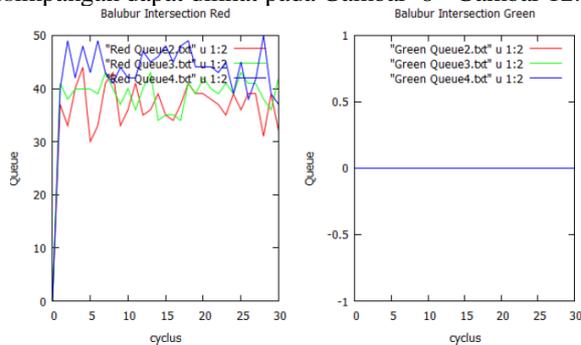
Tabel 4. Persimpangan Diponegoro

Road	a	b	RC	GC	Cross	Leftum
1	7	12	40	80	0	Rand[0,1]*cross
2	5	9	80	40	25	Rand[0,1]*cross
3	4	8	40	80	20	Rand[0,1]*cross
4	0	0	80	40	0	0

Tabel 5. Persimpangan Surapati

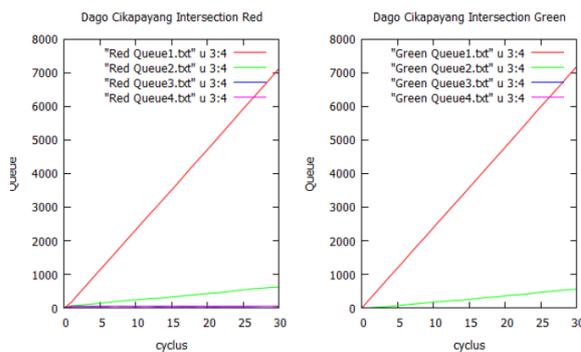
Road	a	b	RC	GC	Cross	Leftum
1	6	12	65	65	20	0
2	0	0	55	55	0	0
3	8	13	65	65	25	0
4	0	0	55	55	0	0

Adapun hasil dengan menghitung pengaruh setiap persimpangan dapat dilihat pada Gambar 3 - Gambar 7. Sedangkan hasil dengan mengabaikan pengaruh setiap persimpangan dapat dilihat pada Gambar 8 - Gambar 12.



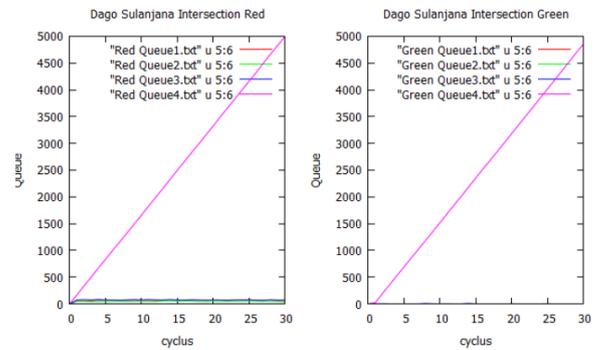
Gambar 3. Persimpangan Balubur dengan model tanpa kopling parameter

Pada Gambar 3 dapat dilihat bahwa terdapat kendaraan dengan jumlah terbanyak 50 kendaraan di setiap jalan persimpangan balubur pada siklus merah, namun pada siklus hijau semua kendaraan tersebut berhasil melintasi persimpangan.



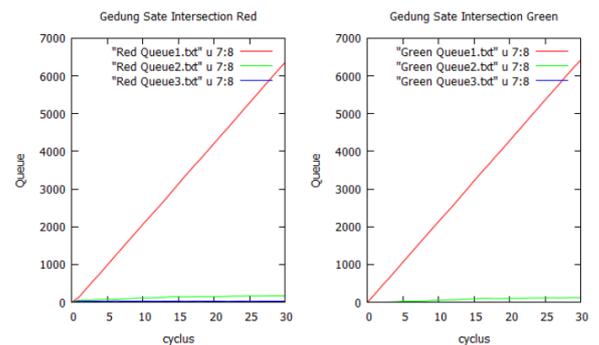
Gambar 4. Persimpangan Dago-Cikapayang dengan model tanpa kopling parameter

Hasil yang dilampirkan pada Gambar 4 menunjukkan bahwa terjadi penumpukkan kendaraan pada salah satu jalan di persimpangan Dago-Cikapayang. Antrian kendaraan pada siklus merah tersebut tidak berkurang sama sekali pada akhir siklus hijau.

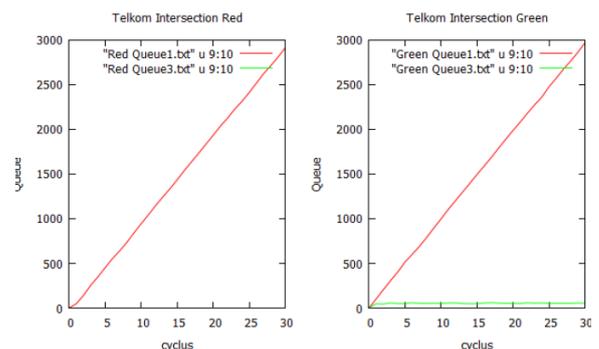


Gambar 5. Persimpangan Dago-Sulanjana dengan model tanpa kopling parameter

Pada Gambar 5 terlihat bahwa antrian pada persimpangan Dago-Sulanjana kecuali di jalan keempat mengalami penurunan bahkan sampai habis, namun di jalan keempat terjadi penumpukkan kendaraan.

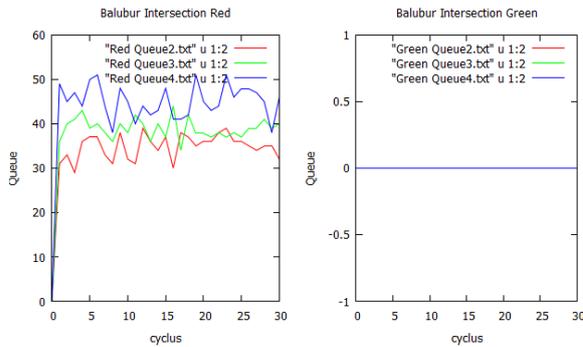


Gambar 6. Persimpangan Diponegoro dengan model tanpa kopling parameter



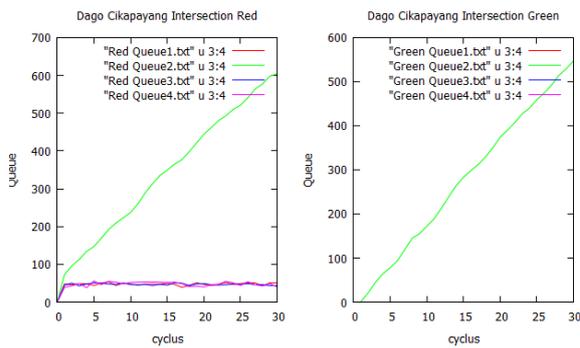
Gambar 7. Persimpangan Surapati dengan model tanpa kopling parameter

Gambar 6 dan Gambar 7 menunjukkan bahwa antrian kendaraan pada salah satu jalan di masing-masing persimpangan tidak berkurang, bahkan pada persimpangan Surapati antrian tersebut semakin meningkat di akhir siklus hijau.



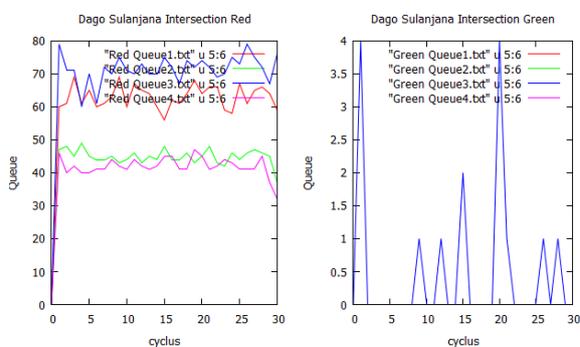
Gambar 8. Persimpangan Balubur dengan model tanpa kopling parameter, parameter p diabaikan

Hasil yang disajikan pada Gambar 8 menunjukkan bahwa antrian kendaraan di setiap jalan pada persimpangan Balubur terus berkurang. Hal ini ditunjukkan dengan jumlah kendaraan pada siklus hijau berjumlah nol.



Gambar 9. Persimpangan Dago-Cikapayang dengan model tanpa kopling parameter, parameter p diabaikan

Pada Gambar 9 dapat terlihat jelas antrian kendaraan di jalan kedua pada persimpangan Dago-Cikapayang semakin meningkat sedangkan di jalan-jalan lainnya mengalami penurunan dan di akhir siklus hijau semua kendaraan di jalan-jalan tersebut dapat melewati persimpangan jalan tersebut.



Gambar 10. Persimpangan Dago-Sulanjana dengan model tanpa kopling parameter, parameter p diabaikan

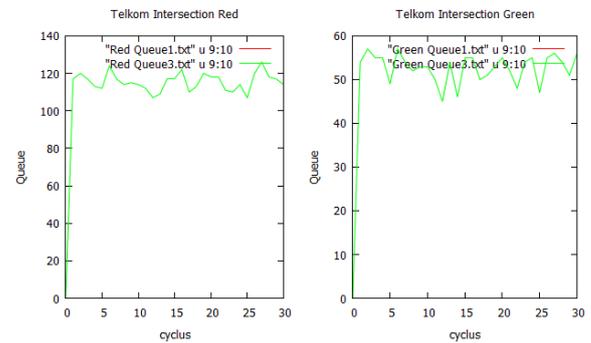
Gambar 10 menunjukkan bahwa terjadi penumpukkan kendaraan pada siklus merah di setiap jalan pada persimpangan Dago-Sulanjana namun antrian kendaraan ini semakin berkurang. Seluruh kendaraan di

jalan tersebut dapat melewati persimpangan kecuali di jalan ke tiga yang masih menyisakan satu kendaraan.



Gambar 11. Persimpangan Diponegoro dengan model tanpa kopling parameter, parameter p diabaikan

Hasil yang dilampirkan pada Gambar 11 menunjukkan bahwa antrian kendaraan di jalan kedua pada persimpangan Diponegoro tidak berkurang sama sekali namun pada jalan-jalan lainnya pada persimpangan tersebut lalu lintas berjalan lancar.



Gambar 12. Persimpangan Surapati dengan model tanpa kopling parameter, parameter p diabaikan

Pada Gambar 12 dapat terlihat jelas bahwa lalu lintas di jalan satu pada persimpangan Telkom berjalan lancar berbeda dengan lalu lintas di jalan kedua.

Secara umum, dari hasil yang dipaparkan pada Gambar 3 - Gambar 7 dapat dikatakan bahwa lalu lintas kendaraan selain di persimpangan Balubur tidak terdistribusi dengan baik. Terdapat jumlah kendaraan yang tinggi pada siklus merah dan hijau pada persimpangan selain di persimpangan Balubur. Sedangkan hasil yang disajikan pada Gambar 8 - Gambar 12 menunjukkan bahwa jika pengaruh setiap persimpangan diabaikan lalu lintas kendaraan terdistribusi jauh lebih baik.

Dari hasil sebelumnya, tingginya jumlah antrian kendaraan disebabkan oleh pengaruh setiap persimpangan. Dalam hal ini selain menghitung kedatangan kendaraan sendiri, pengaruh setiap persimpangan juga dihitung yang mengakibatkan jumlah kedatangan kendaraan semakin tinggi.

Pada kenyataannya setiap persimpangan saling berpengaruh satu sama lain. Misalnya, jika dilihat persimpangan jalan Dago-Cikapayang dan Dago-Sulanjana. Jumlah kendaraan yang memasuki jalan ke empat persimpangan Dago-Sulanjana adalah dari persimpangan Dago-Cikapayang sehingga tidak

diperlukan pembangkitan kedatangan kendaraan pada jalan tersebut. Kedatangan kendaraan hanya dihitung dari jumlah kendaraan yang masuk ke jalan tersebut dari persimpangan jalan lainnya.

Selain itu dari hasil model tanpa parameter kopling didapatkan bahwa hasil akan lebih baik jika sistem tersebut diperlakukan sesederhana mungkin.

4.2 Model dengan Kopling Parameter

Pada subbab ini akan disajikan hasil simulasi untuk model dengan parameter kopling. Berikut nilai parameter-parameter yang digunakan dalam simulasi ini.

Waktu simulasi = 3600 s, interval = 10 s. A_i menyatakan nilai rata-rata kendaraan yang pada persimpangan jalan ke-i. x merepresentasikan bilangan acak [0:1].

Tabel 6. Persimpangan Balubur

Road	a	b	RC	GC	Cross	Leftum
1	0	0	0	0	0	0
2	4	8	60	60	20	10
3	5	8	60	60	20	10
4	5	10	60	60	20	5

Tabel 7. Persimpangan Dago-Cikapayang

Road	a	b	RC	GC	Cross	Leftum
1	A_1-5	A_1+6	50	70	25	10
2	8	12	70	50	25	0
3	8	11	50	70	20	10
4	4	10	70	50	25	0

Tabel 8. Persimpangan Dago-Sulanjana

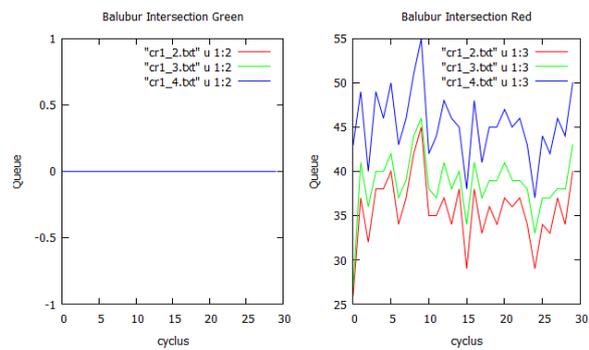
Road	A	b	RC	GC	Cross	Leftum
1	A_1-4	A_1+6	70	50	25	0
2	P_2-3	P_2+3	50	70	20	10
3	8	10	70	50	25	10
4	7	10	50	70	25	0

Tabel 9. Persimpangan Diponegoro

Road	A	b	RC	GC	Cross	Leftum
1	A_3-3	A_3+7	40	80	0	15
2	4	8	80	40	20	10
3	5	9	40	80	20	10
4	0	0	0	0	0	0

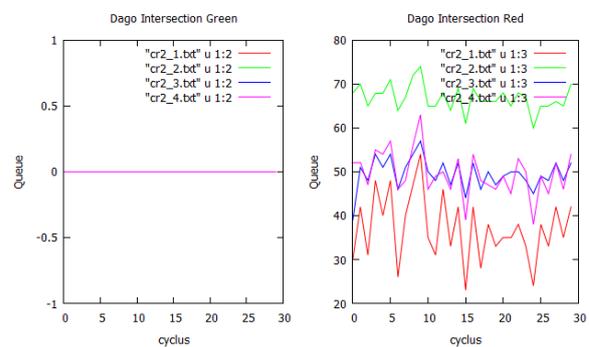
Tabel 10. Persimpangan Surapati

Road	A	b	RC	GC	Cross	Leftum
1	$(A_2-3)*x$	$(A_2+10)*x$	55	65	20	0
2	0	0	0	55	0	0
3	8	13	65	0	25	0
4	0	0	0	0	0	0

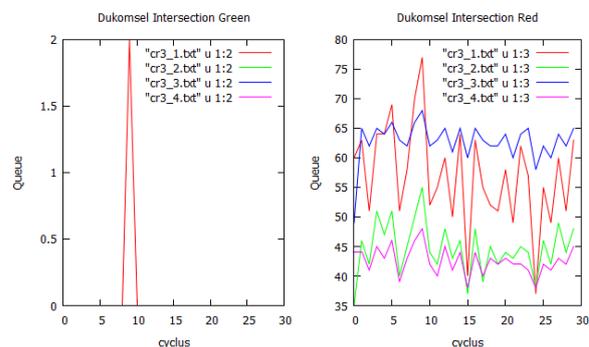


Gambar 13. Persimpangan Balubur untuk model dengan kopling parameter

Pada Gambar 13 terlihat bahwa lalu lintas di persimpangan Balubur berjalan lancar. Antrian kendaraan pada siklus merah berubah menjadi kosong pada siklus hijau. Hal yang serupa ditunjukkan oleh Gambar 14. Lalu lintas di persimpangan Dago-Cikapayang juga berjalan lancar. Semua antrian kendaraan pada siklus merah dapat melewati persimpangan ini.



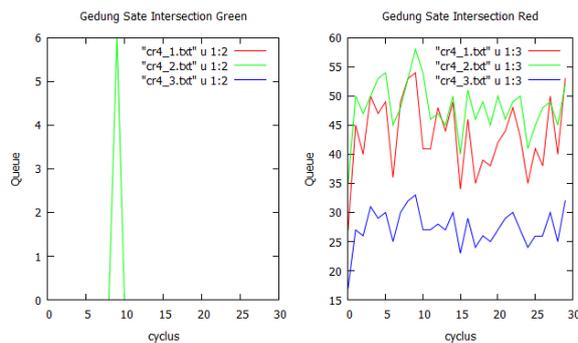
Gambar 14. Persimpangan Dago-Cikapayang untuk model dengan kopling parameter



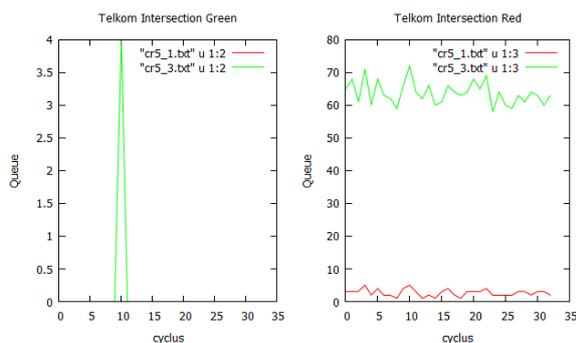
Gambar 15. Persimpangan Dago-Sulanjana untuk model dengan kopling parameter

Hasil yang disajikan pada Gambar 15 - Gambar 17 menunjukkan bahwa antrian panjang terjadi pada siklus merah untuk setiap persimpangan jalan tersebut. Namun pada siklus hijau antrian terus berkurang bahkan sampai habis kecuali di beberapa jalan. Pada persimpangan Dago-Cikapayang jalan pertama yang masih menyisakan dua kendaraan di siklus hijau ke-10. Persimpangan Diponegoro di jalan kedua pada siklus siklus 10 menyisakan enam kendaraan. Sedangkan pada

persimpangan Surapati di jalan kedua masih menyisakan empat kendaraan pada siklus merah.



Gambar 16. Persimpangan Diponegoro untuk model dengan kopling parameter



Gambar 17. Persimpangan Surapati untuk model dengan kopling parameter

Dari hasil simulasi yang dipaparkan sebelumnya dapat dikatakan bahwa model dengan parameter kopling memberikan hasil yang lebih baik. Lalu lintas kendaraan terdistribusi dengan sangat baik. Bahkan pada beberapa persimpangan jalan tidak ada kendaraan pada siklus hijau yang artinya kendaraan yang menunggu pada siklus merah semuanya dapat melalui persimpangan jalan.

V. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Hasil penelitian ini dapat disimpulkan bahwa lalu lintas kendaraan dengan model dengan kopling parameter terdistribusi dengan sangat baik bahkan untuk beberapa persimpangan jalan jumlah antrian kendaraan pada siklus merah bernilai nol. Kedatangan kendaraan, siklus lampu lalu lintas, jumlah kendaraan yang dapat melalui persimpangan dalam satu siklus serta aturan khusus yang menyatakan kendaraan dapat langsung belok kiri adalah faktor-faktor penting dalam pengolahan lampu lalu lintas. Selain itu, sistem pengaturan dapat dipandang sebagai sistem yang lebih sederhana menggunakan model dengan parameter kopling.

5.2 Saran

Beberapa saran yang dapat dijadikan acuan untuk melanjutkan penelitian ini adalah pengaruh pengemudi dapat dimasukkan dalam faktor yang berpengaruh pada pengaturan lampu lalu lintas, interval waktu dapat berubah-ubah sesuai kondisi lalu lintas, dan kedatangan

kendaraan dikategorikan kedalam tiga interval waktu yaitu waktu sibuk, waktu normal, dan waktu rendah.

VI. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Vonglao, Paotjai. *The Solution of Traffic Signal Timing by Using Traffic Intensity Estimation and Fuzzy Logic*. Diss. Edith Cowan University, 2007.
- [2] Sahar Araghi, Abbas Khosravi, and Douglas Creighton. "A review on computational intelligence methods for controlling traffic signal timing." *Expert Systems with Applications*, 42.3 (2015): 1538-1550.
- [3] Collotta, M., Bello, L. L., and Pau, G. A novel approach for dynamic traffic lights management based on Wireless Sensor Networks and multiple fuzzy logic controllers. *Expert Systems with Applications*, 42.13 (2015): 5403-5415.
- [4] Panayiotou, Christos G., William C. Howell, and Michael Fu. "Online traffic light control through gradient estimation using stochastic fluid models." *IFAC Proceedings Volumes* 38.1 (2005): 90-95.
- [5] Wen, W. "A dynamic and automatic traffic light control expert system for solving the road congestion problem." *Expert Systems with Applications* 34.4 (2008): 2370-2381.
- [6] Rahmani, S., Mousavi, S. M., and Kamali, M. J. Modeling of road-traffic noise with the use of genetic algorithm. *Applied Soft Computing*, 11.1 (2011): 1008-1013.
- [7] Alperovich, T., and Sopasakis, A Stochastic description of traffic flow. *Journal of Statistical Physics*, 133.6 (2008): 1083-1105.
- [8] Subajili, Anggamukti Budi. *Simulasi Monte Carlo Untuk Pengaturan Traffic Lights*. Anggamukti Budi Subajili. Tugas Akhir. Institut Teknologi Bandung. 2011.
- [9] Metropolis, Nicholas, and Stanislaw, Ulam. "The monte carlo method." *Journal of the American statistical association* 44.247 (1949): 335-341.
- [10] https://en.wikipedia.org/wiki/Monte_Carlo_method, diakses 8 Mei 2016.