

Optimalisasi waktu tunggu mobil pada lampu merah di tiga persimpangan di Kota Yogyakarta

Eko Atmadji*, Ahmad Syukron

Jurusan Ilmu Ekonomi, Fakultas Bisnis dan Ekonomika, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta, Indonesia

*Corresponding author: 003130102@uui.ac.id

JEL Classification Code:

R410, D620

Kata kunci:

Kemacetan, pemborosan, lalu lintas

Email penulis:

amd.syukron@gmail.com

DOI:

10.20885/JKEK.vol1.iss1.art13

Abstract

Purpose – This study examines economic inefficiencies at three intersections, the Tugu Jogja intersection on Jl. Pangeran Diponegoro, the Demangan Gejayan market intersection on Jl. Urip Sumoharjo and Mirota intersection UGM Campus on Jl. Terban.

Methods – Primary data collection is carried out directly in the study area by collecting variables on the average number of vehicles at the traffic light, the distance of the last vehicle queue in the red signal period, the number of vehicles that pass in the green signal period and the waiting time for vehicles in the last queue.

Findings – The main result of this study is that the length of time the current green and red lights are on is considered too long.

Implication – This study also proposes the length of time for the green and red lights to be turned on in the morning, afternoon, and evening as well as on weekdays and weekends in the three research locations.

Originality – This study contributes to analyzing economic efficiency by using direct surveys.

Abstrak

Tujuan – Studi ini meneliti ketidakefisienan ekonomi di tiga persimpangan yaitu simpang Tugu Jogja di Jl. Pangeran Diponegoro, simpang pasar Demangan Gejayan di Jl. Urip Sumoharjo dan simpang Mirota Kampus UGM di Jl. Terban. Pemilihan ini karena dinilai sebagai pusat aktivitas perkantoran, pendidikan, usaha masyarakat, dan pariwisata sehingga berdampak pada kemacetan yang sangat tinggi.

Metode – Pengumpulan data primer dilakukan secara langsung pada daerah studi dengan mengumpulkan variabel rata-rata jumlah kendaraan pada traffic light, jarak antrian kendaraan terakhir pada periode sinyal merah, jumlah kendaraan lolos pada periode sinyal hijau dan waktu tunggu kendaraan pada antrian terakhir.

Temuan – Hasil dari studi ini yang utama adalah lama waktu nyala lampu hijau dan merah yang sekarang terjadi dirasa terlalu lama.

Implikasi – Studi ini juga memberikan usulan lama waktu penyalaan lampu hijau dan merah di waktu pagi, siang, dan sore hari serta di waktu hari kerja dan akhir minggu di tiga lokasi penelitian.

Orisinalitas – Penelitian ini berkontribusi untuk menganalisis efisiensi ekonomi dengan menggunakan survey langsung.

Pendahuluan

Kemacetan adalah hal yang paling dihindari oleh para pengendara kendaraan bermotor. Hal itu tidak hanya karena terjadi pemborosan waktu, tetapi ada pemborosan energi karena dalam keadaan

macet, mesin kendaraan tetap bekerja tetapi kendaraan tidak berjalan. Di sisi lain, kemacetan dapat menjadi sumber polusi udara bagi warga kota. Sejumlah kendaraan yang berhenti dan mengeluarkan asap di pembuangan akan menghasilkan polusi yang masif. Hal itu tidak saja dapat merongrong kesehatan para pengguna jalan, namun juga dapat mempercepat proses pengotoran bangunan karena akumulasi jelaga yang didapat dari asap kendaraan. Dengan demikian, kemacetan sudah menjadi masalah penting dan perlu difikirkan bagaimana mengurangi kemacetan tersebut.

Kemacetan lalu lintas di Yogyakarta masih menjadi masalah sehari-hari dan tidak menjadi lebih baik (Saptaningtyas et.al, 2018; Abdi et.al, 2019; Munawar et.al, 2021;). Dengan menggunakan model Lorenz, Saptaningtyas menyebutkan bahwa kondisi lalu lintas Yogyakarta tidaklah membaik dan perilaku berkendara dari para pengguna jalan turut menyumbang kemacetan lalu lintas di Yogyakarta. Hal ini diperkuat dengan penelitian Abdi dan Munawar yang menunjukkan bahwa pengaturan parsial lalu lintas dengan tujuan mengurangi kemacetan akan menyebabkan kemacetan di wilayah lain yang berdekatan. Hal ini menyebabkan solusi pengaturan kembali lalu lintas tidaklah efektif.

Beban jalan yang ada di kota Yogyakarta semakin berat. Menurut data BPS, di 2018, tiap kilometer jalan dibebani oleh 2176 kendaraan. Di 2019, beban tiap kilometer jalan harus menanggung 2702 kendaraan. Sedangkan di 2020, tiap kilometer jalan dibebani 2862 kendaraan. Kecepatan tambahan kendaraan di kota Yogyakarta lebih tinggi daripada kecepatan penambahan jalan. Bisa dimengerti jika kemacetan di kota Yogyakarta semakin parah.

Kerugian karena adanya kemacetan jalan di tengah kota telah banyak dihitung dalam berbagai penelitian. Basuki et.al (2008) menghitung ongkos kemacetan di ruas jalan Yogyakarta dengan metode pemborosan dari nilai operasi kendaraan yang ada. Biaya kemacetan yang telah dihitung adalah Rp 11.282.482,21 per jam dalam waktu puncak kemacetan. Sugiyanto et.al (2011) menghitung adanya pemborosan dalam penggunaan kendaraan dalam situasi macet di Yogyakarta. Metode yang dilakukan adalah dengan membandingkan biaya penggunaan kendaraan di saat macet dengan biaya penggunaan kendaraan di area bebas hambatan. Biaya berkendara di tengah kemacetan adalah Rp 5513,77 per perjalanan sedangkan biaya berkendara di area bebas hambatan adalah Rp. 2598,78 per perjalanan. Dengan demikian, biaya pemborosan karena berkendara di tengah kemacetan adalah Rp. 2914,99 per perjalanan. Hal ini bisa disimulasikan jika ada 10.000 kendaraan yang melintas di jalan macet tiap harinya maka biaya pemborosan total adalah Rp. 29.149.900 per perjalanan. Penelitian Rusli (2019) menunjukkan bahwa biaya kemacetan di hari biasa (weekdays) adalah Rp. 55.092.218.680,28 per tahun, sedangkan di hari libur akhir minggu (weekends) adalah Rp. 8.593.967.926,24. Hal ini menunjukkan bahwa kerugian adanya kemacetan di kota Yogyakarta sangatlah besar. Apa yang dihitung oleh ketiga penelitian tersebut adalah berdasarkan biaya operasional kendaraan. Sedangkan penelitian biaya kemacetan berdasarkan biaya waktu (time value) dilakukan oleh Yusup et.al (2018) dan Mahmudah et.al (2019) dimana hasil penghitungan Yusup adalah Rp 5.663.790 per jam merupakan biaya kemacetan berdasarkan biaya waktu. Sedangkan penghitungan dari Mahmudah et al, untuk biaya kemacetan adalah sebesar Rp. 3.780.733,- setiap jam di puncak waktu macet.

Salah satu penyebab kemacetan terjadi di pemberhentian lampu merah (traffic light) dimana panjang waktu lampu merah terlalu lama namun panjang waktu lampu hijau terlalu pendek. Hal ini menyebabkan waktu tunggu kendaraan terutama mobil di persimpangan lampu merah menjadi terlalu lama. Pengaturan lama waktu di lampu lalu lintas tersebut dapat sebagai sumber kemacetan. Pengaturan lama waktu lampu lalu lintas yang tidak benar di persimpangan dapat menyebabkan terlalu lamanya kendaraan menunggu sampai lepas dari persimpangan. Secara ekonomi, hal itu dapat menjadi pemborosan pada penggunaan bahan bakar, kehilangan waktu berharga untuk produktif, dan menghasilkan polusi yang merugikan masyarakat. Dari sisi energi, Prasetyo (2018) melakukan penghitungan keborosan BBM karena kemacetan di sebuah persimpangan di daerah Magelang. Kerugian ekonomi yang ditanggung karena adanya kemacetan di sebuah persimpangan adalah 147,3 liter bensin per hari dan 772,8 liter solar per hari. Kerugian minimal dalam satu hari dalam kasus tersebut adalah Rp 4.950.000 per hari ketika menggunakan bensin Premium dan Solar. Kesimpulan yang sama juga diberikan oleh Hayuna et.al (2005) dan Hadis (2013) dimana kemacetan di persimpangan lampu merah dan perlintasan kereta api telah memboroskan penggunaan BBM.

Dari ketiga penelitian tersebut menunjukkan bahwa kemacetan dapat mengurangi kesejahteraan masyarakat. Berkurangnya kesejahteraan masyarakat terjadi karena konsumsi BBM yang terlalu banyak tetapi dengan waktu tempuh yang sedikit, opportunity cost yang besar akibat hilangnya kesempatan untuk bekerja lebih produktif, dan berkurangnya kesehatan masyarakat akibat polusi sebagai dampak dari kemacetan di berbagai persimpangan. Pemborosan akibat kemacetan di persimpangan terutama persimpangan lampu merah, sebenarnya dapat dikurangi jika pengaturan lampu lalu lintas dapat meminimalkan pemborosan karena kemacetan di persimpangan lampu merah.

Penelitian ini bertujuan untuk mencari waktu yang optimal lamanya lampu merah menyala dan lampu hijau menyala. Waktu optimal yang dimaksud adalah berapa lama lampu merah dan lampu hijau harus dinyalakan agar pemborosan menjadi minimal. Perlu diketahui adanya sifat dari arus lalu lintas kendaraan di persimpangan lampu merah bahwa semakin lama panjang waktu lampu hijau dinyalakan, maka jumlah kendaraan yang melewati lampu hijau akan menaik dengan pola eksponensial. Pada detik awal, jumlah kendaraan yang maju baru sedikit, namun demikian, pada detik menengah, jumlah mobil yang melewati lampu merah akan meningkat dengan percepatan yang positif.

Metode Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan waktu tunggu optimal yang diterima sebuah kendaraan ketika berhenti di persimpangan lampu merah. Untuk dapat menjawab masalah ini, ditentukan terlebih dahulu lokasi penelitian yaitu lokasi persimpangan lampu merah tertentu dengan kriteria, paling banyak menyumbang kemacetan di lingkungan lalu lintas kota Yogyakarta. Untuk itu lokasi ditentukan di persimpangan lampu merah Tugu Yogyakarta, persimpangan lampu merah Demangan – Gejayan, dan persimpangan Mirotta Kampus UGM. Dipilihnya lokasi tersebut karena dinilai sebagai pusat aktivitas perkantoran, pendidikan, usaha masyarakat, dan pariwisata sehingga berdampak pada kemacetan yang sangat tinggi. Di samping itu, asumsi kendaraan yang dimaksud adalah mobil dengan kapasitas mesin 1000cc. Tidak digunakannya sepeda motor maupun truk/bus karena kemudahan menghitung pemborosan dari kemacetan.

Kemacetan di persimpangan lampu merah memiliki karakteristik tersendiri tergantung dari waktunya, baik waktu pagi (6.45 – 8.00), siang (13.00 – 14.00), dan sore (16.00 – 17.30), juga waktu hari-hari biasa dan hari-hari akhir minggu. Waktu yang dipilih di pagi, siang dan sore karena pada saat itu diasumsikan persimpangan lampu merah berada pada puncak kemacetan. Sedangkan untuk waktu hari biasa dan hari akhir minggu dikarenakan puncak kemacetan terjadi pada hari-hari biasa. Jumlah hari yang diambil untuk sampel adalah satu hari pada saat hari biasa (*weekdays*) di tiap persimpangan dan pada saat hari akhir minggu (*weekends*) di Sabtu dan Minggu. Adapun data yang diperlukan adalah rata-rata jumlah kendaraan pada tiap persimpangan lampu merah, jarak antrian kendaraan terakhir pada saat sinyal lampu merah, jumlah kendaraan yang lolos pada saat lampu hijau menyala, dan waktu tunggu kendaraan pada antrian terakhir. Dari data-data tersebut akan dicari pola eksponensial dari kelolosan kendaraan dari lampu hijau untuk kemudian diestimasi koefisiennya berdasarkan persamaan $Y = A_0 e^{bt}$ dimana Y adalah jumlah mobil yang lolos per detik saat lampu hijau, t adalah waktu tunggu mobil, dan A, b adalah koefisien regresi. Berdasarkan hasil regresi tersebut akan dicari waktu optimal tunggu mobil pada lampu merah melalui berbagai simulasi.

Hasil dan Pembahasan

Dari pengamatan, terjadi pola eksponensial pada kondisi di setiap persimpangan lampu merah pada saat lampu merah mulai menyala. Pembuktian pola eksponensial yang terjadi adalah ketika detik pertama sinyal merah menyala, kondisi kendaraan belum ada pergerakan. Kemudian pergerakan kendaraan akan terjadi rata-rata pada detik ke empat sinyal merah dan seterusnya. Kemudian jumlah kendaraan yang lolos akan terus bertambah di setiap detik pada sinyal merah. Sehingga pola yang terjadi pada kondisi lampu merah tersebut mampu membentuk pola eksponensial.

Tabel 1. Hasil Regresi Pada Simpang Tugu

Arah	Waktu	Minggu	Ao	b
Timur	Pagi	Day	0.521647	0.008531*
Utara	Pagi	Day	0.17288	0.071593
Barat	Pagi	Day	0.29234	0.057831
Timur	Siang	Day	0.544321	0.01717
Utara	Siang	Day	0.17248	0.073198
Barat	Siang	Day	0.362001	0.040098
Timur	Sore	Day	0.532448	0.013955
Utara	Sore	Day	0.183145	0.075923
Barat	Sore	Day	0.25932	0.060003
Timur	Pagi	End	0.631642	-0.004203*
Utara	Pagi	End	0.171485	0.063351
Barat	Pagi	End	0.288038	0.042483
Timur	Siang	End	0.692626	0.000167*
Utara	Siang	End	0.176001	0.055291
Barat	Siang	End	0.205311	0.088989
Timur	Sore	End	0.618564	0.003137*
Utara	Sore	End	0.185713	0.049276
Barat	Sore	End	0.30568	0.064752

*: Ho tidak ditolak pada α 5% dan yang tidak asterik Ho ditolak pada α 5%**Tabel 2.** Hasil Regresi Pada Simpang Demangan

Arah	Waktu	Week	Ao	b
Timur	Pagi	Day	0.486972	0.018596
Utara	Pagi	Day	0.174651	0.043118
Selatan	Pagi	Day	0.096916	0.075733
Timur	Siang	Day	0.52206	0.016811
Utara	Siang	Day	0.146848	0.053843
Selatan	Siang	Day	0.117522	0.054876
Timur	Sore	Day	0.53271	0.016767
Utara	Sore	Day	0.166806	0.04819
Selatan	Sore	Day	0.123625	0.067362
Timur	Pagi	End	0.589562	0.006474*
Utara	Pagi	End	0.212838	0.022722
Selatan	Pagi	End	0.086159	0.069381
Timur	Siang	End	0.542693	0.016892
Utara	Siang	End	0.178273	0.048807
Selatan	Siang	End	0.137493	0.062036
Timur	Sore	End	0.550091	0.014218
Utara	Sore	End	0.190245	0.044402
Selatan	Sore	End	0.158326	0.033746

*: Ho tidak ditolak pada α 5% dan yang tidak asterik Ho ditolak pada α 5%**Tabel 3.** Hasil Regresi pada Simpang Mirota

Arah	Waktu	Week	Ao	b
Timur	Pagi	Day	0.593339	0.000725*
Utara	Pagi	Day	0.352916	0.021726
Barat	Pagi	Day	0.232717	0.028174
Timur	Siang	Day	0.590497	0.007596
Utara	Siang	Day	0.398755	0.017482
Barat	Siang	Day	0.215935	0.036038
Timur	Sore	Day	0.531593	0.009634
Utara	Sore	Day	0.40562	0.0161
Barat	Sore	Day	0.176	0.043654
Timur	Pagi	End	0.551864	-0.011285
Utara	Pagi	End	0.313278	0.01635*
Barat	Pagi	End	0.202301	0.023061*
Timur	Siang	End	0.512592	0.010034
Utara	Siang	End	0.416719	0.016167*
Barat	Siang	End	0.180693	0.039252
Timur	Sore	End	0.467015	0.010722
Utara	Sore	End	0.334636	0.026498
Barat	Sore	End	0.208393	0.035016

*: Ho tidak ditolak pada α 5% dan yang tidak asterik Ho ditolak pada α 5%

Tabel-tabel di atas menunjukkan hasil regresi setelah dilakukan pengamatan dengan memasukan variable detik saat sinyal hijau dan jumlah mobil yang lolos setiap detiknya. Dengan menggunakan persamaan $Y = Ae^{bt}$ dimana Y adalah jumlah mobil yang lolos per detik saat lampu hijau, t adalah waktu tunggu mobil, dan A,b adalah koefisien regresi, hasil regresi non linier dari data yang diamati, tersaji hasil regresi yang siap untuk dijadikan bahan melakukan simulasi. Data untuk regresi tersebut diperoleh dari pengamatan di tiga lokasi pengamatan, pada hari-hari biasa (*weekdays*) maupun akhir minggu (*weekends*), di tiga waktu, pagi, siang, dan sore, serta dua dan tiga arah (dari utara, timur, dan barat).

Dari hasil regresi pada Tabel 1, Tabel 2, dan Tabel 3, disusun simulasi berbagai panjang waktu dalam detik pada lampu hijau dan merah. Tabel-tabel berikut adalah simulasi waktu pada lampu hijau dan merah yang menghasilkan antrian kendaraan paling sedikit di berbagai waktu.

Tabel 4. Tabel Hasil Simulasi Waktu Tunggu Mobil Pada Simpang Tugu

Hijau	Merah	Arah	Waktu	Week	Hasil
40	63	Timur	Pagi	Day	-0.27583
28	82	Utara	Pagi	Day	-0.26247
20	71	Barat	Pagi	Day	-1.3938
45	95	Timur	Siang	Day	-0.55602
27	80	Utara	Siang	Day	-0.17172
20	71	Barat	Siang	Day	-4.42618
50	80	Timur	Sore	Day	-0.24474
28	85	Utara	Sore	Day	-0.96195
25	75	Barat	Sore	Day	-0.27122
40	53	Timur	Pagi	End	-4.18832
20	71	Utara	Pagi	End	-2.89892
20	71	Barat	Pagi	End	-5.21536
40	53	Timur	Siang	End	-1.38501
20	71	Utara	Siang	End	-0.75583
20	71	Barat	Siang	End	-5.01112
40	80	Timur	Sore	End	-1.2033
20	60	Utara	Sore	End	-1.21918
20	55	Barat	Sore	End	-1.43412

Keterangan: di kolom Hijau dan Merah adalah lamanya lampu hijau dan merah menyala dalam detik

Tabel 5. Tabel Hasil Simulasi Waktu Tunggu Mobil Pada Simpang Demangan

Hijau	Merah	Arah	Waktu	Week	Hasil
65	96	Timur	Pagi	Day	-0.54685
30	76	Utara	Pagi	Day	-0.92276
20	76	Selatan	Pagi	Day	-1.63538
95	171	Timur	Siang	Day	-0.67051
35	85	Utara	Siang	Day	-0.52883
24	82	Selatan	Siang	Day	-0.74519
80	153	Timur	Sore	Day	-0.44505
30	80	Utara	Sore	Day	-0.14201
30	75	Selatan	Sore	Day	-0.70035
43	64	Timur	Pagi	End	-7.15423
30	75	Utara	Pagi	End	-3.57746
20	74	Selatan	Pagi	End	-2.56573
65	107	Timur	Siang	End	-0.58769
30	80	Utara	Siang	End	-0.36545
24	83	Selatan	Siang	End	-2.8715
75	143	Timur	Sore	End	-0.26871
30	75	Utara	Sore	End	-0.37632
24	83	Selatan	Sore	End	-3.63987

Keterangan: di kolom Hijau dan Merah adalah lamanya lampu hijau dan merah menyala dalam detik

Tabel 6. Tabel Hasil Simulasi Waktu Tunggu Mobil Pada Simpang Mirota

Hijau	Merah	Arah	Waktu	Week	Hasil
45	71	Timur	Pagi	Day	-1.79831
30	90	Utara	Pagi	Day	-1.69018
30	86	Barat	Pagi	Day	-4.04723
53	75	Timur	Siang	Day	-0.23781
55	100	Utara	Siang	Day	-0.87501
45	90	Barat	Siang	Day	-1.02858
53	71	Timur	Sore	Day	-0.81314
43	100	Utara	Sore	Day	0.445871
30	95	Barat	Sore	Day	-0.75509
46	73	Timur	Pagi	End	-6.33261
30	89	Utara	Pagi	End	-5.62399
30	93	Barat	Pagi	End	-2.10344
24	53	Timur	Siang	End	-0.03265
46	88	Utara	Siang	End	0.175955
40	81	Barat	Siang	End	-0.09375
35	60	Timur	Sore	End	-2.90823
45	80	Utara	Sore	End	-2.59378
30	83	Barat	Sore	End	-2.15013

Keterangan: di kolom Hijau dan Merah adalah lamanya lampu hijau dan merah menyala dalam detik

Pada kolom hasil bertanda negatif menunjukkan bahwa antrian ketika lampu merah hanya berlangsung satu kali karena nyalanya lampu hijau cukup lama sampai antrian habis. Hasil dari tabel tersebut adalah simulasi lama waktu lampu hijau dan merah yang paling optimal untuk sebuah kendaraan menunggu satu kali di lampu merah. Pada Tabel 6 menunjukkan ada dua baris dimana nilai **Hasil** bertanda positif yang berarti, waktu optimal untuk kendaraan masih menunggu dua kali lampu merah yaitu di Simpang Mirota arah utara pada sore hari di hari biasa dan arah utara pada siang hari di akhir minggu.

Simulasi sinyal merah dan hijau dilakukan dengan Batasan-batasan:

- Apabila kondisi simpang pada waktu (pagi, siang dan sore) yang sama telah baik dengan ditunjukkan angka negatif pada kolom **Hasil** maka tidak dilakukan simulasi pada arah simpang tersebut.
- Apabila kondisi simpang pada waktu yang sama menunjukkan **Hasil** yang negatif dan positif maka akan dilakukan simulasi pada setiap arah simpang. Simulasi dilakukan dengan mengubah waktu pada sinyal merah dan hijau namun dengan waktu total yang sama. Namun apabila total waktu yang sama tidak menunjukkan hasil yang negatif, maka simulasi akan dilakukan secara acak dengan tujuan kolom hasil menjadi negatif.
- Apabila kondisi simpang pada waktu yang sama menunjukkan **Hasil** yang positif semua maka akan dilakukan simulasi waktu secara acak tanpa mempertimbangkan total waktu yang sama pada setiap sinyal.

Hasil simulasi dari Tabel 4, Tabel 5, dan Tabel 6 kemudian dihitung pemborosan bahan bakar serta waktu tunggu di lampu merah untuk tiga persimpangan dan di waktu pagi, siang, dan sore serta pada hari biasa dan akhir minggu. Rekapitulasi dari penghitungan tersebut disajikan dalam tiga buah tabel (Tabel 7, Tabel 8, dan Tabel 9).

Tiga buah tabel tersebut adalah waktu usulan untuk penyalaan lampu hijau dan merah pada waktu pagi, siang, dan sore serta pada hari kerja dan akhir minggu di tiga persimpangan Tugu, Demangan, dan Mirota. Penentuan dari usulan waktu penyalaan lampu hijau dan merah didasarkan atas konsumsi bahan bakar saat kendaraan dalam keadaan diam (*idle*) dimana menurut penelitian majalah Ecomobile dari Canada menghabiskan 0,6 liter BBM per jam atau 0,000166666667 liter per detik¹. Jika kendaraan menggunakan Pertalite maka konsumsi BBM rata-rata di tiap situasi adalah Rp 6130 per satu kali menunggu lampu merah untuk tiap kendaraan. Seandainya ada 50

¹ Diunduh dari https://ecomobile.gouv.qc.ca/en/ecomobilite/tips/idling_engine.php

kendaraan yang terlibat dalam menunggu lampu merah satu kali, maka jumlah konsumsi bahan bakar setara dengan uang senilai Rp 306.500.

Tabel 7. Waktu Usulan (Optimal) Pada Simpang Tugu

Simpang	Arah	Waktu Sekarang (detik)		Waktu Usulan (detik)		Waktu Sekarang (detik)		Waktu Usulan (detik)	
		Hijau	Merah	Hijau	Merah	Hijau	Merah	Hijau	Merah
Tugu Pagi	Timur	33	53	40	63	40	53	40	53
	Utara	20	82	28	82	20	71	20	71
	Barat	20	71	20	71	20	71	20	71
Tugu Siang	Timur	35	53	45	95	40	53	40	53
	Utara	20	72	27	80	20	71	20	71
	Barat	20	71	20	71	20	71	20	71
Tugu Sore	Timur	40	53	50	80	40	53	40	80
	Utara	20	72	28	85	20	71	20	60
	Barat	20	65	25	75	20	71	20	55

Tabel 8. Waktu Usulan (Optimal) Pada Simpang Demangan

Simpang	Arah	Waktu Sekarang (detik)		Waktu Usulan (detik)		Waktu Sekarang (detik)		Waktu Usulan (detik)	
		Hijau	Merah	Hijau	Merah	Hijau	Merah	Hijau	Merah
Demangan Pagi	Timur	40	65	65	96	43	64	43	64
	Utara	30	76	30	76	30	75	30	75
	Selatan	20	76	20	76	20	74	20	74
Demangan Siang	Timur	40	64	95	171	43	74	65	107
	Utara	30	76	35	85	30	75	30	80
	Selatan	24	82	24	82	24	83	24	83
Demangan Sore	Timur	44	64	80	153	44	62	75	143
	Utara	30	76	30	80	30	75	30	75
	Selatan	20	85	30	75	24	83	24	83

Tabel 9. Waktu Usulan (Optimal) Pada Simpang Mirota

Simpang	Arah	Waktu Sekarang (detik)		Waktu Usulan (detik)		Waktu Sekarang (detik)		Waktu Usulan (detik)	
		Hijau	Merah	Hijau	Merah	Hijau	Merah	Hijau	Merah
Mirota Pagi	Timur	45	71	45	71	46	73	46	73
	Utara	30	90	30	90	30	89	30	89
	Barat	30	86	30	86	30	93	30	93
Mirota Siang	Timur	53	71	53	75	50	73	24	53
	Utara	30	92	55	100	30	75	46	88
	Barat	30	95	45	90	30	74	40	81
Mirota Sore	Timur	53	71	53	71	50	73	35	60
	Utara	30	95	43	100	30	75	45	80
	Barat	30	95	30	95	30	75	30	83

Kesimpulan dan Implikasi

Kesimpulan dari penelitian ini adalah terjadi pola eksponensial pada kondisi di setiap lampu lalu lintas pada lampu merah mulai menyala. Pola eksponensial tersebut adalah jumlah mobil yang meninggalkan lampu merah akan semakin banyak per detikya seiring bertambahnya waktu. Penggunaan persamaan non linier "jumlah mobil meninggalkan lampu merah = $A_0 \cdot \exp[b \cdot \text{detik}]$ " yang kemudian menemukan nilai dari A_0 dan b yang menunjukkan kecepatan banyaknya mobil yang meninggalkan simpang sebelum lampu merah menyala. Simpangan yang diteliti adalah simpang Tugu Jogja, Demangan Gejayan dan Mirota Kampus UGM karena letak simpang tersebut dinilai sebagai pusat aktivitas perkantoran, pendidikan, usaha masyarakat, dan pariwisata. Kendaraan yang dihitung pada penelitian ini diasumsikan kendaraan mobil berkapasitas mesin 1.000cc.

Waktu penyalan lampu hijau dan merah yang sekarang terjadi dinilai terlalu pendek dan diusulkan untuk memperpanjang waktu nyala dari lampu hijau dan lampu merah sesuai dengan

waktu yang diusulkan oleh peneliti. Dari hasil simulasi, perpanjangan waktu nyala lampu hijau dan lampu merah akan mengefisienkan waktu tunggu kendaraan di lampu merah. Hal ini dapat mengurangi pemborosan konsumsi BBM dan biaya kehilangan karena menunggu di lampu merah menjadi berkurang.

Daftar Pustaka

- Abdi, G. N., Priyanto, S., & Malkamah, S. (2019). Hubungan Volume, Kecepatan Dan Kepadatan Lalu Lintas Pada Ruas Jalan Padjajaran (Ring Road Utara), Sleman. *Teknisia*, 55-64.
- Basuki, I., & Siswadi, S. (2008). Biaya Kemacetan Ruas Jalan Kota Yogyakarta. *Jurnal Teknik Sipil Universitas Atma Jaya Yogyakarta*, 9(1), 71-80.
- Hadis, Chirstmas Samodra. 2013. Hubungan Tundaan Dan Panjang Antrian Terhadap Konsumsi Bahan Bakar Akibat Penutupan Pintu Perlintasan Kereta Api. Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret Surakarta. Diunduh pada 19 Januari 2019.
- Hayun, Anggara. dan Sundari. 2005. Penentuan Waktu Penyalaan Lalu Lintas Yang Optimal: Kasus Persimpangan Buah Batu Lingkar Selatan. *INASEA Vol.6 No.2 Oktober 2005*: 77-90. Diunduh pada 18 Januari 2019
- Mahmudah, N., & Andriani, E. (2019). Penentuan Biaya Kemacetan Lalu Lintas Pada Simpang Bersinyal SGM Yogyakarta. *Jurnal Transportasi*, 19(2), 77-86.
- Munawar, A., & Kamulyan, B. (2021, May). Analysis of The Impact of Traffic and Pedestrianization Environment in Malioboro. *Journal of the Civil Engineering Forum* (Vol. 7, No. 2, pp. 187-196).
- Prasetyo, Bagas Arief, Dwi Ahmad Rizani, Muji Setiyo, Noto Widodo, Sifudin, Bagiyo Condro P. 2018. Estimasi Pemborosan Bahan Bakar Akibat Kemacetan Menggunakan Analisis Citra Google Map (Studi Kasus pada Simpang Armada Town Square Mall Magelang). *Jurnal UNIMMA Vol. 1 No.2 (2018)* pp. 37-43. Diunduh pada 03 Maret 2019.
- Rusli, L. (2019). Kerugian Transportasi Akibat Kemacetan Lalu Lintas Di Yogyakarta, Tesis Magister Teknik Sipil, Universitas Islam Indonesia.
- Saptaningtyas, F. Y., & Krisnawan, K. P. (2018, March). Dynamical analysis of Lorenz System on traffic problem in Yogyakarta, Indonesia. *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 983, No. 1, p. 012092). IOP Publishing.
- Sugiyanto, G., Munawar, A., Malkamah, S., & Sutomo, H. (2011). Pengembangan Model Biaya Kemacetan Bagi Pengguna Mobil Pribadi Di Daerah Pusat Perkotaan Yogyakarta. *Jurnal Transportasi*, 11(2).
- Yusup, M., & Mahmudah, N. (2018). Congestion Cost Analysis of Condongcatur Signalized Intersection Sleman, DI Yogyakarta using PTV. Vissim 9. In *MATEC Web of Conferences* (Vol. 181, p. 06003). EDP Sciences.