

## **LINTAS: SISTEM SIMULASI LALU LINTAS MENGGUNAKAN SIMEVENTS MATLAB**

**ERWIN HARAHA<sup>1</sup>, AKBAR HARAHA<sup>2</sup>, ANDRI SURYADI<sup>3</sup>, DENI  
DARMAWAN<sup>4</sup>, RAKHMAT CEHA<sup>5</sup>**

**UNIVERSITAS ISLAM BANDUNG**

erwin2h@unisba.ac.id, akbarhida@uinsgd.ac.id, asuryadi@institutpendidikan.ac.id,  
d\_darmawan@upi.edu, rceha@unisba.ac.id

### **ABSTRACT**

*Road traffic is a supporting medium that is essential to various means of land transportation that connect various locations and even large cities. Smooth traffic is a good parameter of the management of a city, also as a sign to determine the technological and economic development in the city. As the rate of civilization grows, as well as the number of people, the road traffic becomes more crowded, so that, congestion occurs to an alarming level. The solution to breaking down the congestion problem is by applying some methods and traffic engineering. However, implementing some methods and traffic engineering without proper planning, will lead to high costs and less optimal results.*

*In this article we proposed a traffic simulation system called as "LINTAS", as a tool in trying to decipher the traffic jam. The exact method and traffic engineering, before it is tested in a real way, is first simulated through the LINTAS system, so that it can be known its effectiveness. LINTAS are built using the SimEvents toolbox and run on MATLAB-Simulink software. The LINTAS simulator is performed based on the mathematical sciences, especially the field of queueing theory.*

*Keywords: traffic, congestion, simulation, queueing theory, sim-events, matlab*

### **A. PENDAHULUAN**

Kemacetan terjadi secara umum disebabkan oleh panjangnya antrian kendaraan karena terhambatnya arus lalu lintas. Panjangnya antrian ini pada dasarnya adalah dikarenakan oleh dua faktor, yaitu karena terbatasnya kapasitas jalan atau karena jumlah kendaraan yang terlalu banyak [1]. Solusi sederhana untuk pemecahan masalah kemacetan ini adalah dengan meningkatkan kapasitas jalan, dan/atau mengurangi jumlah kendaraan [2]. Namun pada pelaksanaannya solusi tersebut tidaklah sederhana. Peningkatan kapasitas jalan membutuhkan biaya yang sangat besar, disamping proses pembebasan lahan yang harus melalui mekanisme birokrasi yang sangat rumit dan berbelarut-larut [3]. Disisi lain, mengurangi jumlah kendaraan juga tidak mudah, karena terkait dengan kebijakan pemerintah dimana pendapatan pajak atas kendaraan akan menurun, dan juga ketergantungan masyarakat terhadap sarana transportasi yang sudah menjadi kebutuhan utama dan tidak bisa dilepaskan dalam aktifitas rutin [4].

Kemacetan umumnya terjadi di kota-kota besar, namun tidak menutup kemungkinan juga terjadi di kota kecil atau daerah lain dengan jumlah penduduk serta tingkat kesibukan penduduk yang cukup tinggi. Kemacetan juga secara umum terjadi karena manajemen lalu lintas tidak begitu baik, disamping rendahnya tingkat kedisiplinan para pengguna lalu lintas [5, 6, 7].

Kemacetan dapat juga terjadi karena adanya ketimpangan antara jumlah kendaraan dengan kapasitas jalan [1]. Kota yang memiliki jumlah penduduk yang sangat padat, misalnya Jakarta, Bandung, dan beberapa kota lainnya di Indonesia, sangat rawan terjadi

kemacetan. Kondisi ini terjadi umumnya di beberapa titik yang beririsan dengan lokasi publik, seperti pasar, sekolah, terminal bus, dan lokasi serupa lainnya [8, 9, 10]. Kemacetan juga dapat terjadi pada perpotongan jalur lalu lintas, misalnya persimpangan lampu lalu lintas [11] atau persimpangan rel kereta api [12], atau juga disebabkan oleh adanya kecelakaan, bencana alam seperti banjir, tanah longsor, kebakaran di jalan, kebakaran di pemukiman, dan lain-lain [13].

Kemacetan lalu lintas sangat penting untuk diatasi permasalahannya karena sangat merugikan dan memberikan dampak negatif yang besar terhadap aktifitas kehidupan masyarakat secara luas, terutama terhadap masyarakat yang tinggal di lokasi tersebut. Kerugian yang muncul diantaranya adalah kerugian waktu karena perjalanan transportasi terhambat, pemborosan bahan bakar, rusaknya kendaraan karena panas mesin yang berlebihan, meningkatnya polusi udara, meningkatkan stress dan emosional para pengguna jalan, dan lain sebagainya [14]. Dampak negatif lain dari kemacetan adalah terganggunya kelancaran transportasi darurat seperti ambulans dan pemadam kebakaran [15].

Pemerintah, dalam hal ini adalah para aparat pengelola lalu lintas dan kepolisian di berbagai kota, khususnya di kota Bandung, telah melaksanakan berbagai upaya untuk mengurangi kemacetan lalu lintas. Hal ini dilakukan melalui berbagai cara, diantaranya adalah dengan memantau lalu lintas melalui CCTV, pemasangan rambu-rambu, pengaturan lampu lintas, rekayasa arus kendaraan, memperbanyak kendaraan umum masal, dan lain-lain. Metode ini telah dilaksanakan secara intensif, namun kenyataan di jalan raya kota Bandung, kemacetan masih terjadi di banyak lokasi [16].

Implementasi penanggulangan kemacetan lalu lintas di kota Bandung belum cukup optimal [17]. Hal ini, salah satunya adalah disebabkan oleh belum tepatnya metode dan rekayasa lalu lintas yang diterapkan. Oleh karena itu, diperlukan suatu sistem yang dapat memprediksi situasi lalu lintas sebelum dan sesudah diterapkannya suatu rekayasa.

Dalam artikel ini, penulis mengusulkan sebuah sistem simulasi untuk dapat memperkirakan situasi lalu lintas yang dinamakan "LINTAS" [18]. Sistem ini adalah berupa software aplikasi yang dalam operasinya mengadopsi salah satu bidang ilmu Matematika, yaitu Teori Antrian. Proses kedatangan kendaraan dan layanan diperhitungkan berdasarkan pada Little' Theorem dan beberapa teori peluang [19, 20, 21].

Sistem simulasi LINTAS diharapkan dapat menjadi alat bantu dan pendukung bagi para pengelola lalu lintas jalan raya untuk dapat lebih efektif dalam mengimplementasikan rancangan suatu metode atau rekayasa, sebelum rancangan tersebut diterapkan secara nyata. Sistem LINTAS juga diharapkan dapat memprediksi kondisi lalu lintas pada saat kondisi puncak (*prime time*), misalnya pada jam-jam sibuk atau pada situasi menjelang libur panjang atau hari raya nasional.

Selengkapnya isi dari artikel ini adalah sebagai berikut: Pada bagian kedua, dibahas mengenai metode yang berisi mengenai uraian tentang LINTAS, rancangan simulasi, serta teori dasar simulasi (teori antrian). Pada bagian ketiga akan dibahas mengenai implementasi sistem LINTAS, komponen penyusun simulator, data input, hasil simulasi, dan pembahasan. Bagian terakhir berisi kesimpulan beserta saran untuk pengembangan penelitian terkait dimasa depan.

## **B. METODE PENELITIAN**

### **1. LINTAS: State of the art**

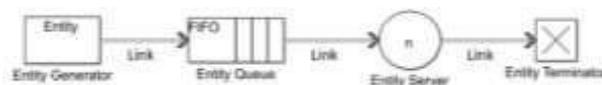
LINTAS adalah sebuah sistem yang dirancang untuk mensimulasikan arus lalu lintas berdasarkan pada ilmu Matematika khususnya Teori Antrian. LINTAS dirancang untuk dapat menjalankan simulasi berdasarkan tiga jenis parameter input, diantaranya

adalah rata-rata jumlah kedatangan kendaraan per satuan waktu, rata-rata lama waktu kendaraan berada dalam suatu sistem (antrian, lampu lalu lintas, pintu kereta, dll), dan kapasitas ruas jalan. Berdasarkan ketiga input tersebut, LINTAS dapat memprediksi terjadi atau tidaknya kemacetan, panjang antrian kendaraan, jumlah kendaraan pada suatu ruas jalan, lama perjalanan dari titik awal hingga titik akhir, dan prediksi lainnya yang dibutuhkan sebagai bahan analisis lalu lintas.

Selain memproses tiga parameter diatas, LINTAS juga dirancang untuk dapat memprediksi situasi lalu lintas berdasarkan pada metode atau rekayasa tertentu. Misalnya perubahan arah arus menjadi searah atau dua arah, pengalihan kendaraan secara dinamis [22], penyeimbangan beban arus lalu lintas (*load balancing*) [23], rekayasa lampu lalu lintas [XXX], dan metode atau rekayasa lainnya. Simulasi melalui sistem LINTAS akan dapat meringankan beban para pengelola lalu lintas, sedemikian sehingga dapat ditemukan metode rekayasa yang paling tepat untuk menciptakan suasana lalu lintas yang lancar dan terhindar dari kemacetan.

## 2. Rancangan Simulasi

Sistem LINTAS disusun dengan menggunakan *toolbox* SimEvents dan dijalankan pada software MATLAB-Simulink [24]. Sistem ini serupa dengan sistem simulasi CDNlink [25] dimana perbedaannya adalah pada implementasinya yang lebih fokus kepada simulasi jaringan komputer atau Internet [26, 27]. Sistem simulator LINTAS dirancang dengan memuat beberapa blok modul sebagaimana ditampikan pada gambar 1.



**Gambar 1. Rancangan Sistem Dasar Simulator LINTAS**

Sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 1, Sistem LINTAS secara umum dibangun oleh lima buah blok utama yang disebut dengan modul *entity*, yaitu *generator*, *link*, *queue*, *server*, dan *terminator*. *Generator* berfungsi sebagai pembangkit paket data, dimana dalam hal ini adalah titik awal munculnya kendaraan yang dihitung berdasarkan banyaknya kendaraan yang dibangkitkan per satu satuan waktu. *Link* berfungsi sebagai ruas jalan dimana paket data (kendaraan) bergerak. Kapasitas *link* dapat diatur sesuai dengan kondisi nyata lalu lintas, satu lajur, dua lajur atau lebih, namun hanya bisa digunakan sebagai arus jalan satu jalur. Untuk disusun arus lalu lintas dua jalur, harus dibuat melalui link masing-masing.

*Queue* berfungsi sebagai penampung antrian kendaraan. Pada saat satu kendaraan mengalami proses, kendaraan lain akan mengantri dan ditampung didalam modul *queue*. *Server* berfungsi sebagai modul pelaksana proses layanan paket data atau kendaraan. Proses layanan yang dimaksud adalah pada saat kendaraan berhenti karena suatu kendala di jalan selama satu satuan waktu. *Terminator*, berfungsi sebagai titik akhir kendaraan. Paket data atau kendaraan yang tiba pada modul terminator selanjutnya akan dihapus atau tidak dipergunakan kembali.

### 3. Teori Antrian

Sistem LINTAS beroperasi dengan berdasarkan kepada Teori Antrian, yang merupakan bagian dari ilmu Matematika. Teori antrian seringkali digunakan dalam analisis manajemen lalu lintas untuk memahami dan memonitoring kemacetan melalui beberapa parameter seperti rata-rata kedatangan kendaraan, panjang antrian, waktu tunggu dalam antrian, dan lain-lain.

Beberapa konsep dasar teori antrian yang digunakan pada sistem LINTAS adalah laju kedatangan ( $\lambda$ ), yaitu rata-rata kedatangan kendaraan kedalam sistem per satu satuan waktu. Laju proses atau pelayanan dalam sistem ( $\mu$ ) adalah rata-rata kendaraan selesai di proses dan keluar dari sistem antrian atau hambatan lalu lintas per satu satuan waktu. Dalam artikel ini diasumsikan bahwa model antrian yang digunakan adalah M/M/n dimana  $n$  adalah jumlah server ditunjukkan dengan bilangan riil. Pada model M/M/n, proses kedatangan bersifat *Poisson* dengan laju kedatangan mengikuti distribusi eksponensial. Begitu pula laju pelayanan mengikuti distribusi eksponensial.

Berdasarkan pada model antrian M/M/n, rata-rata panjang antrian kendaraan ( $L$ ) dalam kondisi *steady-state* dihitung berdasarkan rumus:

$$L = \frac{P_0(\lambda - \mu)^n \lambda / n\mu}{n!(1 - \lambda/n\mu)^2} \quad (1)$$

dimana

$$P_0 = \left[ \sum_{i=0}^{n-1} \frac{(\lambda/\mu)^i}{i!} + \frac{(\lambda/\mu)^n}{n!(1 - \lambda/n\mu)} \right]^{-1} \quad (2)$$

Perhitungan panjang antrian sudah terintegrasi didalam modul *Queue* didalam sistem LINTAS. Hasil dari perhitungan panjang antrian berdasarkan modul *Queue* untuk waktu simulasi tak terhingga, memberikan hasil yang konvergen dengan rumus (1). Selanjutnya, tingkat kepadatan lalu lintas ( $\rho$ ) dihitung berdasarkan rumus:

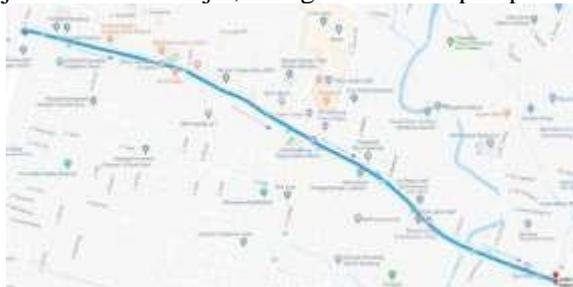
$$\rho = \frac{\lambda}{\mu} \quad (3)$$

dimana rata-rata waktu proses adalah  $1/\mu$ . Sebagaimana panjang antrian ( $L$ ), perhitungan tingkat kepadatan lalu lintas ( $\rho$ ) juga sudah terintegrasi didalam modul *Server*.

## C. HASIL DAN PEMBAHASAN

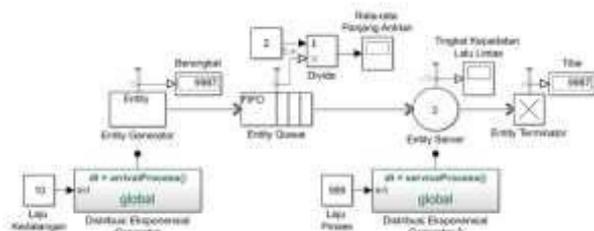
### 1. Implementasi Sistem LINTAS

Berdasarkan rancangan simulasi pada Gambar 1, sistem LINTAS dibangun untuk simulasi lalu lintas pada satu area tertentu di kota Bandung. Pada artikel ini, diambil area lalu lintas satu arah jalan Gatot Subroto dari arah perempatan jalan Pelajar Pejuang menuju perempatan jalan Ibrahim Adjie, sebagai mana tampak pada gambar 2.



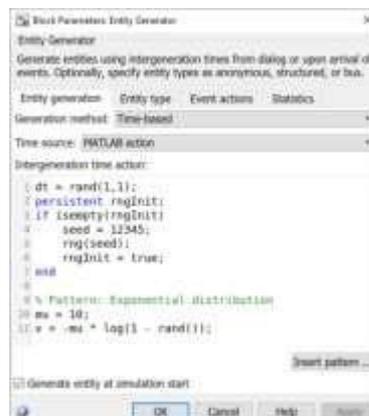
**Gambar 2. Peta Jalan Gatot Subroto Bandung**

Selanjutnya, berdasarkan peta pada gambar 2, disusun sistem simulasi LINTAS dengan menggunakan lima modul utama yaitu paket data generator (*entity generator*) sebagai pembangkit jumlah kendaraan, modul antrian (*entity queue*), modul server (*entity server*) sebagai modul proses/pelayanan, modul terminator untuk menghapus paket data yang sudah digunakan, serta link sebagai ruas jalan. Hasil update sistem LINTAS adalah ditunjukkan pada Gambar 3.



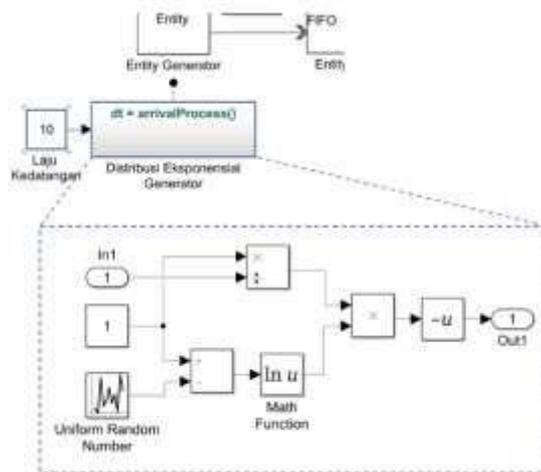
**Gambar 3. Sistem LINTAS untuk Jalan Gatot Subroto**

Sebagaimana disampaikan pada bagian kedua bahwa model antrian pada sistem LINTAS diasumsikan sebagai M/M/n, maka laju kedatangan bersifat *Poisson* dengan pola kedatangan secara acak mengikuti distribusi eksponensial. Begitu pula untuk laju proses atau layanan kendaraan. Dengan demikian, blok generator dan server harus di setup terlebih dahulu sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 4.



**Gambar 4. Parameter untuk modul *Entity Generator***

Setting entity generator dapat juga menggunakan modul eksternal sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 5. Input data untuk laju kedatangan diinputkan secara manual. Nilai ( $\lambda$ ) yang diinputkan adalah rata-rata kedatangan kendaraan. Nilai tersebut selanjutnya di-generate mengikuti distribusi eksponensial. Langkah ini juga diterapkan untuk input rata-rata proses/layanan kendaraan ( $\mu$ ) mengikuti distribusi eksponensial pada modul server. Parameter  $\lambda$  dan  $\mu$  memiliki satuan jumlah kendaraan per detik, dengan batasan nilai adalah  $0 < (\lambda, \mu) < \infty$ .



**Gambar 5.** Input data mengikuti distribusi eksponensial untuk *Entity Generator*

Tahap selanjutnya adalah menjalankan simulasi. Dalam implementasi ini diujicobakan beberapa parameter generator dan server sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 1.

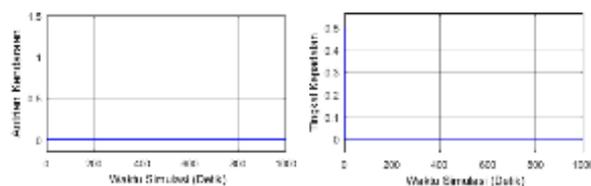
**Tabel 1. Setting Parameter  $\mu$**

Simulasi ke	Generator	Server
1	10	Tak Hingga
2	2	1
3	100	50
4	20	20

Durasi waktu simulasi ditentukan selama 1000 detik. Jumlah server ( $n$ ) adalah 1. Hasil dari simulasi yang akan dianalisis adalah kemungkinan terjadinya kemacetan berdasarkan pada panjang antrian.

## 2. Hasil Simulasi

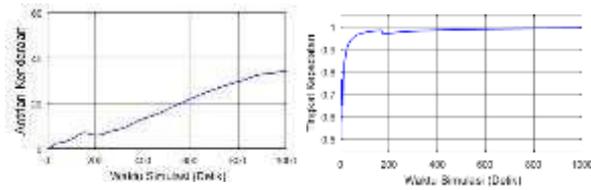
Simulasi dengan sistem LINTAS dijalankan berdasarkan parameter pada Tabel 1. Hasil untuk simulasi pertama ditunjukkan pada Gambar 6. Tampilan pada gambar sesuai dengan perkiraan, dimana apabila laju proses bernilai tidak terhingga, artinya tidak ada hambatan di perjalanan yang berakibat tidak terjadi kemacetan. Tidak ada antrian kendaraan. Tingkat kepadatan lalu lintas bernilai 0.



**Gambar 6.** Hasil Simulasi Pertama

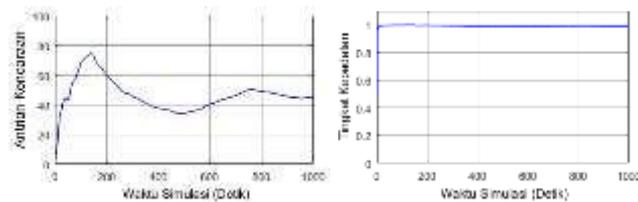
Pada simulasi kedua, parameter laju kedatangan dan laju proses/pelayanan adalah sama. Hal ini dikarenakan pada sistem LINTAS, server memiliki dua gate paralel. Ini

merupakan penyesuaian terhadap kondisi nyata pada jalur lalu lintas di Jalan Gatot Subroto Bandung, dimana arah dari simpang empat Pelajar Pejuang menuju simpang empat Ibrahim Adjie memiliki minimal dua lajur kendaraan. Namun demikian, berdasarkan simulasi, walaupun nilai laju kedatangan dan laju pelayanan adalah seimbang, tingkat antrian kendaraan sangat tinggi dan juga tingkat kepadatan lalu lintas mendekati angka maksimal 1, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 7. Untuk menghindari kemacetan, laju pelayanan/proses harus selalu bernilai lebih tinggi dari laju kedatangan.



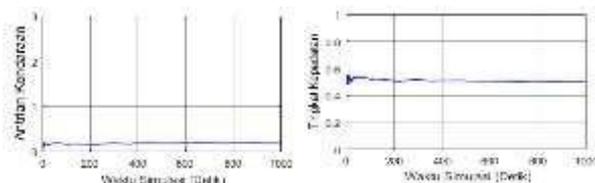
**Gambar 7. Hasil Simulasi ke-2**

Simulasi ketiga memiliki parameter yang sama dengan simulasi yang kedua. Perbedaannya adalah nilai laju kedatangan jauh lebih besar dari sebelumnya, namun tetap memiliki nilai yang seimbang dengan laju pelayanan. Hasil simulasi pada Gambar 8 menunjukkan hasil yang serupa dengan gambar 7.



**Gambar 8. Hasil Simulasi ke-3**

Pada simulasi ke empat, walaupun nilai parameter antara laju kedatangan dengan laju pelayanan tampak sama, namun karena memiliki dua server, laju pelayanan menjadi dua kali lebih besar dari laju kedatangan. Hasil simulasi menunjukkan tidak terjadi antrian kendaraan karena laju kedatangan lebih kecil dari laju pelayanan, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 9. Tingkat kepadatan lalu lintas juga cukup rendah. Situasi seperti ini adalah situasi ideal lalu lintas, dimana laju kedatangan kendaraan lebih rendah dibandingkan dengan laju pelayanan/proses.



**Gambar 9. Hasil Simulasi ke-4**

#### **D. KESIMPULAN**

Sistem LINTAS dapat dijadikan sarana pendukung yang dapat menghemat berbagai sumber daya bagi pemerintah dalam mengelola manajemen lalu lintas melalui simulasi beberapa metode dan rekayasa sebelum diimplementasikan secara nyata di jalan raya. Sistem LINTAS akan lebih akurat hasilnya berdasarkan data input lalu lintas.

Untuk pengembangan penelitian, disarankan agar diterapkan area lalu lintas yang lebih luas, metode pengurai kemacetan, serta input data yang dinamis dan akurat.

#### **E. Acknowledgement**

Penelitian ini didukung dan dibiayai oleh Program Studi Matematika, FMIPA, Universitas Islam Bandung; dan dukung oleh Koperasi SRC Mandiri (KSM) Global; serta International Indonesian Central Publisher (IICP) Bandung.

#### **F. DAFTAR PUSTAKA**

- "Lahan Parkir dan Dropping Zone, Solusi Masalah Lalu Lintas di Tabanan," 07 Juni 2017. [Online]. Available: <https://www.kabarnusa.com>. [Accessed 26 Februari 2018].
- H. A. Halim, "Tiga Usulan Pemkab Bogor Kurangi Beban di Jalur Puncak," 3 Mei 2017. [Online]. Available: <http://www.pikiran-rakyat.com>. [Accessed 26 Februari 2017].
- "Upaya Pelebaran Jalan Terkendala Sulitnya Pembebasan Lahan," 15 Juni 2014. [Online]. Available: <http://www.pikiran-rakyat.com>. [Accessed 26 Februari 2018].
- "Pembatasan Kendaraan, Efektifkah atasi kemacetan?", Agustus 2011. [Online]. Available: <http://ylki.or.id>. [Accessed 26 Februari 2018].
- S. Ravel, "Kemacetan Liburan, Rekayasa Lalu Lintas Tak Efektif," 2 Januari 2016. [Online]. Available: <http://sains.kompas.com>. [Accessed 27 Februari 2018].
- S. Pembaruan, "Pengguna Jalan Biang Kemacetan," 24 Oktober 2010. [Online]. Available: <http://sp.beritasatu.com>. [Accessed 27 Februari 2018].
- E. A. Retaduari, "Ini Aneka Penyebab Macet Parah di Jakarta Senin Pagi Ini," Detik News, 12 Juni 2017. [Online]. Available: <https://news.detik.com>. [Accessed 27 Februari 2018].
- A. Prakasa, "Jadi Biang Macet, Terminal Legendaris di Bandung Bakal Dibongkar," Liputan 6, 18 Oktober 2017. [Online]. Available: <http://regional.liputan6.com>. [Accessed 27 Februari 2018].
- "Inilah Sejumlah Penyebab Terjadinya Keruwetan Lalu Lintas di Sekitar Pasar Induk Gadang Kota Malang," SuryaMalang.com, 1 Februari 2018. [Online]. Available: <http://suryamalang.tribunnews.com>. [Accessed 27 Februari 2018].
- "Bubar Sekolah, Macet Makin Parah," RadarCirebon.com, 29 Juli 2017. [Online]. Available: <http://www.radarcirebon.com>. [Accessed 27 Februari 2018].
- C. M. Rahayu, "Lampu Rusak Hanya Kuning, Perempatan Matraman Macet Total," Detik News, 22 Juni 2017. [Online]. Available: <https://news.detik.com>. [Accessed 27 Februari 2018].
- I. Setiawan, "Kemacetan di Perlintasan KA Kramat Sentiong," Detik News, 29 April 2016. [Online]. Available: <https://news.detik.com>. [Accessed 27 Februari 2018].
- A. Ramadhan, "Lalu Lintas di Jalan Letjen Soeprapto Macet akibat Banjir," KOMPAS.com, 15 Februari 2018. [Online]. Available: <http://megapolitan.kompas.com>. [Accessed 27 Februari 2018].
- T. Rachman, "Kerugian Akibat Macet di Jakarta Capai Rp 65 Triliun per Tahun," REPUBLIKA, 15 Mei 2015. [Online]. Available: <http://nasional.republika.co.id>. [Accessed 27 Februari 2018].

- "Sulitnya Menaklukan Kebakaran Di Jakarta: Aksi Pemadam Kebakaran Sering Terhambat Kemacetan," Detik News, 26 September 2013. [Online]. Available: <https://news.detik.com>. [Accessed 27 Februari 2018].
- A. Agustina, "Atasi macet, Pemkot Bandung akan perbanyak bus," Merdeka.com, 5 Januari 2017. [Online]. Available: <https://bandung.merdeka.com>. [Accessed 27 Februari 2018].
- T. Ispranoto, "Ridwan Kamil-Oded Belum Optimal Selesaikan Macet dan Banjir," Detik News, 11 Desember 2017. [Online]. Available: <https://news.detik.com>. [Accessed 27 Februari 2018].
- E. Harahap, "LINTAS: Sistem Simulasi Lalu Lintas Menggunakan SimEvents MATLAB," Februari 2018. [Online]. Available: <https://erwin2h.wordpress.com>.
- Gunter Bolch, Stefan Greiner, Hermann de Meer, Kishor S. Trivedi, *Queueing Networks and Markov Chains 2nd*, New Jersey, USA.: John Wiley & Sons, Inc., 2006.
- Ng Chee-Hock, Soong Boon-Hee, *Queueing Modelling Fundamentals 2nd*, Sussex, England.: John Wiley & Sons Ltd., 2008.
- E. Harahap, J. Wijekoon, R. Tennekoon, F. Yamaguchi, S. Ishida and H. Nishi, "Modeling of Router-based Request Redirection for Content Distribution Network," *International Journal of Computer Applications (IJCA)*, vol. 76, no. 13, pp. 37-46, 2013.
- E. Harahap, I. Sukarsih, H. Farid and M. Y. Fajar, "Model Antrian Dengan Pengalihan Dinamis untuk Mengurangi Kemacetan Jalan Raya," *ETHOS (Jurnal Penelitian dan Pengabdian)*, vol. 5, no. 2, pp. 182-185, 2017.
- E. Harahap, A. Suryadi, Ridwan, D. Darmawan and R. Ceha, "Efektifitas Load Balancing Dalam Mengurangi Kemacetan Jalan Raya," *Matematika: Teori dan Terapan Matematika*, vol. 16, no. 2, 2017.
- M. R. Fadhillah, I. Sukarsih and E. Harahap, "Simulasi Pengaturan Lampu Lalu Lintas Menggunakan Fuzzy Inference System Metode Mamdani pada MATLAB," *Matematika: Teori dan Terapan Matematika*, vol. 16, no. 1, 2017.
- "SimEvents: Model and simulate discrete-event systems," MathWorks, 2018. [Online]. Available: <https://www.mathworks.com/products/simevents.html>. [Accessed 27 Februari 2018].
- E. Harahap, I. Sukarsih, G. Gunawan, M. Y. Fajar, D. Darmawan and H. Nishi, "A Model-Based Simulator for Content Delivery Network using SimEvents MATLAB-Simulink," *INSIST: International Series on Interdisciplinary Science and Technology*, vol. 1, no. 1, pp. 30-33, 2016.
- J Wijekoon, R Tennekoon, E Harahap, H Nishi, "Service-oriented router module implementation on ns-3," in *SIMUTOOLS 2014: The 7th International ICST Conference on Simulation Tools and Techniques*, 2014.
- E. Harahap, W. Sakamoto and H. Nishi, "Failure prediction method for network management system by using Bayesian network and shared database," in *Information and Telecommunication Technologies (APSITT), 2010 8th Asia- Pacific Symposium on*, Kota Kinabalu, Malaysia., 2010.