

SIMULASI TRAFIK DI BEBERAPA PERSIMPANGAN UTAMA DI BANDAR RAYA MELAKA

(Traffic Simulation at Several Main Intersections in Malacca City)

CHOONG-YEUN LIONG, MUHAMMAD ZAHID SYAHMI,
SAKHINAH ABU BAKAR* & FATIMAH ABDUL RAZAK

ABSTRAK

Kesesakan lalu lintas pada waktu puncak adalah satu daripada isu yang sering berlaku di Malaysia. Hal ini boleh menyebabkan pembaziran masa, wang serta memberi tekanan emosi kepada pemandu. Sistem kawalan lampu isyarat yang kurang berkesan adalah satu daripada faktor yang menyumbang kepada masalah ini. Walaupun kebanyakan sistem lampu isyarat telah menggunakan teknologi sensor bagi meningkatkan kecekapan, namun masih berlaku kesesakan lalu lintas pada waktu puncak. Kajian ini membuat simulasi terhadap beberapa persimpangan utama di bandar raya Melaka pada waktu puncak bagi menganalisis kesesakan trafik yang berlaku di persimpangan tersebut. Seterusnya, beberapa model susunan sistem lampu isyarat digunakan untuk melihat keberkesanan dalam mengurangkan purata masa menunggu dan jumlah kenderaan yang menunggu di setiap lorong. Suatu model alternatif yang telah dilaksanakan di beberapa buah negara luar turut dimodelkan ke dalam sistem simulasi tersebut. Hasil simulasi menunjukkan purata masa menunggu dan jumlah kenderaan yang menunggu di setiap lorong di persimpangan tersebut dapat dikurangkan dengan menukar urutan dan fasa pada sistem lampu isyarat.

Kata kunci: pemodelan simulasi; lampu isyarat; kesesakan; persimpangan; Arena

ABSTRACT

One of the issues which always happen in Malaysia is traffic congestions during peak hours. It can cause emotional stress to the road user and waste precious time and money. An inefficient traffic light control system is one of the causes of this problem. Despite most traffic light systems nowadays already use sensor-based technology to improve efficiencies, congestion during peak hours still occurs. This study aims to simulate several main intersections in Malacca city to analyse the traffic congestion at the intersections. Then, several alternative models are applied to evaluate the effectiveness in reducing the average waiting time and number of vehicles waiting at each of the lanes. An alternative model which has been implemented in several countries is modelled into the simulation system too. The simulation results show that the average waiting time and average number of vehicles waiting per lane at the intersection can be reduced by changing the order and phase of the traffic light system.

Keywords: simulation modelling; traffic light; congestion; intersection; Arena

1. Pengenalan

Era revolusi teknologi masa kini memudahkan manusia untuk bergerak dari satu tempat ke satu tempat yang lain tidak kira melalui pengangkutan udara, air atau darat. Di negara-negara membangun seperti Malaysia, sistem perhubungan darat sedang rancak dibina dan ditambah baik bagi menggalakkan pengaliran ekonomi negara. Justeru, sistem pengawalan pengangkutan di persimpangan jalan raya turut diperkenalkan bagi memudahkan urusan masyarakat setempat. Antara cara yang berkesan untuk mengawal lalu lintas di persimpangan jalan adalah dengan menggunakan lampu isyarat (Morlok 1978; Kamran *et al.* 2017). Sekitar tahun 2000, aplikasi

komputer yang menghubungkan pelbagai peranti pengesan mula meluas digunakan. Pada tahun 2016, khususnya di Malaysia, sistem trafik pintar telah diperkenalkan di Cyberjaya bagi menangani kesesakan lalu lintas. Sistem tersebut mengagihkan tempoh masa lampu isyarat hijau secara automatik dan membolehkan sistem lampu trafik sedia ada mudah diubah suai.

Fokus utama kajian ini melibatkan waktu berlakunya kesesakan lalu lintas di bandar, iaitu pada waktu kemuncak sekitar jam 7.30 pagi sehingga jam 8.30 pagi. Menurut kajian yang dilakukan oleh Othman Che Puan (2004), antara kelemahan lampu isyarat adalah pertambahan jumlah lengah kepada kenderaan terutamanya di luar waktu puncak, peningkatan kemalangan ketika memberhentikan kenderaan apabila lampu isyarat bertukar merah apabila diletakkan di tempat yang tidak sesuai, boleh mengakibatkan kelewatan dan boleh mengakibatkan pengawalannya tidak dihiraukan, serta meningkatkan keperluan kepada penyelenggaraan.

Maka dengan ini keseluruhan makalah ini disusun seperti berikut: seksyen berikutnya membincangkan kajian-kajian lepas yang telah dianalisis untuk dijadikan kajian ilmiah. Seksyen 3 menerangkan secara terperinci tatakaedah kajian yang dijalankan merangkumi pembangunan model simulasi sistem lampu isyarat menggunakan perisian Arena 14.5 (Kelton *et al.* 2010) serta alternatif reka bentuk model baharu bagi mengurangkan kesesakan jalan raya di persimpangan bandar raya Melaka (Abu Bakar 2018). Seterusnya dijelaskan pembinaan model simulasi menggunakan perisian Arena 14 secara terperinci termasuklah langkah-langkah dalam membangunkan model simulasi dan larian model dalam Seksyen 4. Manakala, Seksyen 5 pula mengulas dapatan kajian daripada model simulasi yang digunakan serta menunjukkan perbandingan antara model-model baharu yang dibangunkan. Sebagai pengakhiran, Seksyen 6 merumuskan kajian penyelidikan yang telah dijalankan serta memberi cadangan penambahbaikan untuk kajian lanjutan pada masa akan datang.

2. Permasalahan Kajian

Terdapat pelbagai cara dan sistem yang telah digunakan bagi menyelesaikan masalah kesesakan lalu lintas. Bagi penyelidikan ini, ianya lebih menjurus kepada penggunaan simulasi yang membolehkan pergerakan lampu isyarat diubah suai bagi mengurangkan kesesakan jalan raya. Simulasi boleh ditakrifkan sebagai suatu proses atau sistem yang ditiru daripada operasi sebenar. Ia digunakan untuk mengkaji tindak balas sistem terhadap perubahan persekitaran yang berbeza.

Menurut Morlok (1978), lampu isyarat mempunyai tiga aspek, iaitu hijau untuk meneruskan perjalanan, kuning untuk membenarkan kenderaan melalui persimpangan sebelum lampu bertukar merah, dan merah untuk memberi isyarat berhenti kepada kenderaan. Pergerakan lalu lintas di persimpangan dikawal oleh Sistem Kawalan Lampu Isyarat yang menentukan arah pergerakan dan tempoh masa bagi setiap simpang. Terdapat tiga jenis sistem kawalan, iaitu sistem tetapan masa tetap, sistem separa penggerak dan sistem penggerak penuh (Muaz 2014). Sistem separa penggerak dan sistem penggerak penuh memerlukan penggunaan sensor bagi mengesan kehadiran kenderaan. Hazrat *et al.* (2013) telah membangunkan perisian Sistem Pengawasan Video Berautonomi menggunakan teknik pemprosesan imej bagi mengenal pasti jenis-jenis kenderaan yang berada di jalan raya seterusnya dapat membuat kawalan trafik yang lebih baik bagi mengurangkan kesesakan di jalan raya. Li *et al.* (2013) pula telah menambah baik sistem pengawasan video di lebuh raya bagi mengenal pasti keadaan semasa sama ada tenang, perlahan atau sesak.

Terdapat dua jenis lampu isyarat yang diguna pakai di Malaysia, iaitu sistem lampu isyarat dengan tetapan tempoh masa tetap dan sistem lampu isyarat dengan kawalan penggerak penuh atau separa penuh (JKR 1987). Kemudian, pengesan lampu isyarat terbahagi kepada dua jenis, iaitu intrusif dan bukan intrusif. Coleri *et al.* (2004) menyatakan bahawa penggunaan

lampu isyarat intrusif lebih baik daripada lampu isyarat tidak intrusif; namun, kos pemasangan dan penyelenggaraannya lebih tinggi. Oleh yang demikian, beberapa kajian menggunakan simulasi telah dijalankan bagi mengoptimumkan fungsi sensor lampu isyarat di persimpangan jalan. Antaranya kajian menggunakan sensor inframerah dalam sistem lampu isyarat dua fasa dengan situasi sebenar di adaptasi di Universiti Islam Antarabangsa Malaysi (Albagul *et al.* 2006) serta kajian lampu isyarat sensor di simpang kereta api menggunakan sistem *track circuit* yang telah diprogramkan (Isyanto *et al.* 2016).

Simulasi dalam penyelidikan ini telah dibina menggunakan Perisian Arena di mana perisian ini juga telah digunakan dalam bidang lain seperti kesihatan (Al-Refaie *et al.* 2014), pembuatan (Ruzanita & Wan Rosmanira 2013), pengangkutan (Hani *et al.* 2008), perkhidmatan dobi (Hambali & Liong 2014), susun atur ruang stok konkrit prapasang (Marasini & Dawood 2002), dan lain-lain lagi.

Dalam kajian berkaitan lampu isyarat, Abdul-Yasser *et al.* (2011) telah membandingkan prestasi lampu isyarat yang mempunyai sensor dengan lampu isyarat yang menggunakan sistem berasaskan masa tetap. Hasil daripada kajian tersebut mendapati purata masa menunggu bagi persimpangan yang kurang sibuk menurun sebanyak 62.5 peratus, iaitu dari 20 saat kepada 7.5 saat apabila menggunakan sistem lampu isyarat yang mempunyai sensor. Manakala bagi persimpangan yang sibuk juga terdapat penurunan purata masa menunggu dari 19.97 saat kepada 17.43 saat. Selain daripada itu, Kamrani *et al.* (2014) telah membuat simulasi trafik pada masa puncak bagi dua persimpangan yang tidak mempunyai lampu isyarat. Dapatan kajian menunjukkan penggunaan lampu isyarat di persimpangan tersebut dapat mengurangkan masa menunggu sebanyak 53 peratus. Kajian ini membuktikan bahawa lampu isyarat adalah antara satu penyelesaian untuk mengurangkan kesesakan di jalan raya.

Malah, pada tahun 2017, Muhammad Zulqarnain *et al.* telah berjaya membuat simulasi keadaan trafik yang sebenar dengan kadar selang keyakinan 90 peratus. Seterusnya, Kamran *et al.* (2017) telah berjaya membuat simulasi bagi mencari masa optimum untuk sebuah persimpangan lampu isyarat yang mempunyai tiga fasa. Model alternatif yang dibina dapat mengurangkan purata masa menunggu setiap kenderaan dari 64.67 saat kepada 53.9 saat. Oleh yang demikian, perisian Arena boleh digunakan dalam pembinaan model sistem kawalan lampu isyarat. Selain itu, penambahbaikan boleh dibuat daripada beberapa sudut seperti jenis lampu isyarat yang digunakan, giliran kenderaan keluar simpang dan kitaran masa lampu isyarat bergantung pada keadaan trafik di sesebuah persimpangan (Tama *et al.* 2016; Yuniawan *et al.* 2018).

3. Tatakaedah Kajian

Jadual 1 menunjukkan lima peringkat utama di dalam kajian ini. Ia dimulakan dengan proses mengenal pasti masalah dan menetapkan objektif yang ingin dicapai. Tiga persimpangan utama di sepanjang Lebuhraya Alor Gajah - Melaka Tengah - Jasin yang mempunyai purata masa menunggu dan purata jumlah kenderaan menunggu yang tertinggi telah dipilih. Seterusnya, proses pengumpulan data dijalankan dengan membuat rakaman video keadaan di trafik untuk mendapatkan jumlah kenderaan, sistem urutan lampu isyarat dan tempoh masa setiap fasa lampu isyarat.

Proses ini dilaksanakan pada waktu puncak dari 7.30 pagi sehingga 8.30 pagi selama lima hari bekerja. Data yang diperolehi telah dimasukkan ke dalam perisian Microsoft Excel dan seterusnya dimasukkan ke dalam perisian Penganalisis Input Arena untuk memperoleh fungsi taburan kebarangkalian yang terbaik untuk setiap input. Kemudian, model simulasi dibina dengan menggunakan perisian Arena (Carson 2005; Kelton *et al.* 2010).

Jadual 1: Rangka utama kajian

Peringkat Utama	Langkah-langkah
Peringkat Pertama	Mengenal pasti masalah Penetapan objektif dan pelan
Peringkat Kedua	Pengumpulan data Pembangunan model simulasi
Peringkat Ketiga	Pentahkikan model Pengesahan model
Peringkat Keempat	Reka bentuk model baharu Larian model dan analisis
Peringkat Kelima	Dokumentasi dan laporan larian

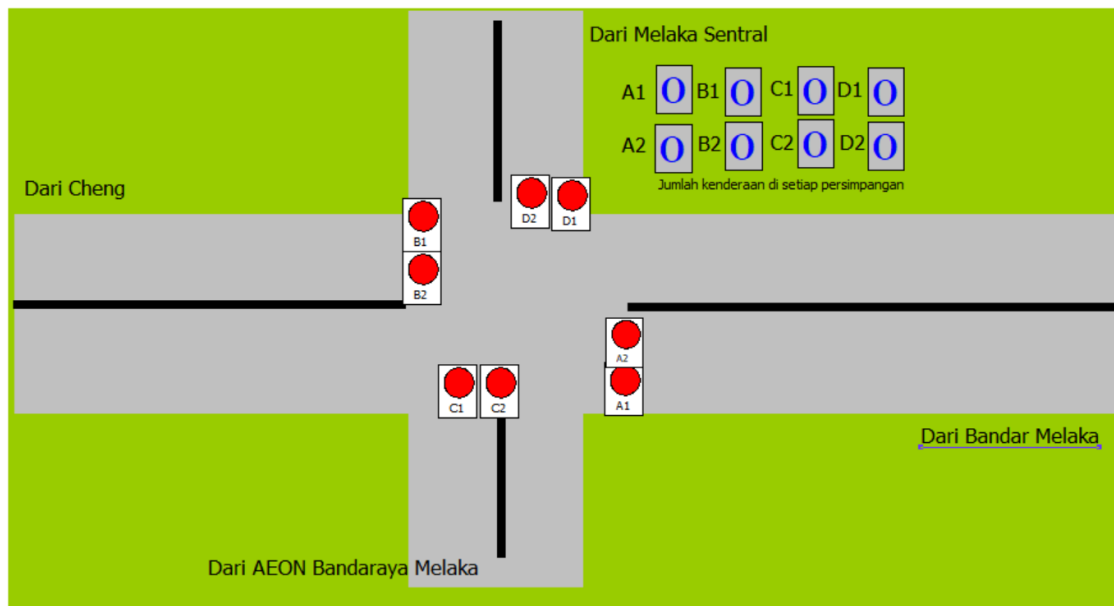
Terdapat dua proses penting di dalam fasa ketiga, iaitu pentahkikan dan pengesahan model. Pentahkikan model ditakrifkan sebagai ketepatan pembangunan model menggunakan data yang betul. Kajian ini menggunakan cara nyahpejijat dan animasi untuk mentahkik bahawa model yang dibina adalah tepat. Pengesahan model pula dibuat bagi memastikan model yang dibina adalah mewakili sistem sebenar yang diperhatikan. Ia dilakukan dengan memastikan bahawa ralat yang diperoleh adalah di bawah julat yang diterima. Dalam kajian ini, hanya 10 peratus ralat dibenarkan bagi memastikan bahawa model yang dibina adalah diterima.

Pada fasa yang seterusnya, iaitu fasa keempat, masalah yang dialami oleh sistem lampu isyarat di setiap persimpangan akan dianalisis. Beberapa penambahbaikan perlu dipertimbangkan seperti reka bentuk model yang baharu, masa larian simulasi serta penetapan parameter. Setelah itu, proses larian pengeluaran terhadap model simulasi diteruskan bagi setiap reka bentuk baharu yang telah diputuskan. Output simulasi dianalisis dan perbandingan model asal dengan model binaan dikaji bagi menilai sistem susunan gerakan lampu isyarat yang terbaik. Pada fasa terakhir, hasil simulasi yang diperoleh dilaporkan bagi menentukan aturan gerakan lampu isyarat yang dapat menyelesaikan masalah kesesakan lalu lintas.

4. Pembangunan Model

Dalam kajian ini, tiga persimpangan empat yang mempunyai sistem lampu isyarat penggerak telah dipilih sebagai model kajian. Persimpangan tersebut dilabel sebagai Persimpangan X, Persimpangan Y dan Persimpangan Z. Rajah 1 di bawah menunjukkan contoh persimpangan X yang mempunyai lapan lorong, iaitu A1, A2, B1, B2, C1, C2, D1 dan D2.

Ketiga-tiga persimpangan mempunyai perbezaan keadaan lalu lintas, fasa dan juga sistem urutan pergerakan. Fasa merujuk kepada jumlah isyarat lampu hijau dalam satu kitaran lengkap lampu isyarat. Manakala urutan pergerakan pula menunjukkan lorong yang diberikan lampu isyarat hijau di persimpangan dalam setiap fasa. Persimpangan X dan persimpangan Z mempunyai empat fasa yang berbeza manakala persimpangan Y pula mempunyai lima fasa susunan pergerakan lampu isyarat. Butiran terperinci tentang lokasi setiap persimpangan, cara susunan pergerakan mengikut lorong serta keadaan trafik ditunjukkan dalam Jadual 2.



Rajah 1: Contoh gambar persimpangan kajian

Jadual 2: Butiran penerangan setiap persimpangan.

	Model I (Persimpangan X)	Model II (Persimpangan Y)	Model III (Persimpangan Z)
Lokasi	Persimpangan AEON Bandar raya Melaka	Persimpangan Pulau Gadong – Krubong	Persimpangan Bank CIMB Cheng
Jumlah fasa	Empat	Lima	Empat
Urutan pergerakan lampu isyarat	Fasa 1: A1 & B1 Fasa 2: A2 & B2 Fasa 3: C1 & C2 Fasa 4: D1 & D2	Fasa 1: A1 & A2 Fasa 2: A1 & B1 Fasa 3: B1 & B2 Fasa 4: C1 & C2 Fasa 5: D1 & D2	Fasa 1: A1 & A2 Fasa 2: B1 & B2 Fasa 3: C1 & C2 Fasa 4: D1 & D2

Jadual 3: Butiran penerangan bagi Model IV dan Model V

	Model IV	Model V
Jumlah fasa	Empat	Enam
Susunan pergerakan lampu isyarat	Fasa 1: A1 & A2 Fasa 2: A1 & B1 Fasa 3: B1 & B2 Fasa 4: C1, C2 D1 & D2	Fasa 1: A1 & A2 Fasa 2: A1 & B1 Fasa 3: B1 & B2 Fasa 4: C1 & D1 Fasa 5: C1 & C2 Fasa 6: C2 & D2

Dalam kajian ini terdapat lima model sistem lampu isyarat yang dipertimbangkan. Model I adalah model sistem lampu isyarat di Persimpangan X, Model II dari Persimpangan Y dan Model III adalah sistem yang diaplikasikan di Persimpangan Z. Dua lagi model alternatif turut dicadangkan, iaitu Model IV dan Model V. Model IV mempunyai fasa yang diaplikasikan penggunaannya daripada sistem trafik dari luar negara antaranya di negara Australia dan di United Kingdom. Fasa ini dikenali sebagai fasa “*turn right with care*”. Model V pula merupakan model cadangan yang belum diaplikasikan di mana-mana sistem lampu isyarat

khususnya di Malaysia. Butiran susunan pergerakan lampu isyarat adalah seperti Jadual 3 di bawah.

Kelima-lima model simulasi dibina berdasarkan keadaan trafik di persimpangan X, Y dan Z. Purata masa menunggu dan purata jumlah kenderaan yang menunggu dibandingkan untuk melihat kecekapan setiap model.

4.1 Pembinaan model simulasi

Rajah 2(a) menunjukkan susun atur asas bagi model simulasi. Terdapat empat submodel untuk setiap lorong dan satu submodel sistem kawalan lampu isyarat. Entiti kereta akan dicipta dari setiap submodel lorong dan ditahan di persimpangan sebelum menerima isyarat lampu hijau dari submodel sistem kawalan lampu isyarat.

Rajah 2(b) pula menunjukkan contoh submodel bagi sistem kawalan lampu isyarat bagi Model I. Submodel ini bermula dengan kehadiran entiti program pada masa 0.0 saat. Entiti ini akan bergerak daripada satu fasa lampu isyarat ke fasa yang lain tanpa dilupuskan dan akan melalui setiap modul mengikut masa yang ditetapkan bagi meniru sistem lampu isyarat yang sebenar. Ia bermula dengan Modul Umpuk bagi menetapkan keadaan asal lampu isyarat. Seterusnya, entiti ini akan melalui Modul Rampas bagi memberitahu kepada sistem untuk memberi isyarat lampu hijau kepada lorong yang tertentu. Set masa setiap lampu isyarat diberikan berdasarkan data yang diperolehi dan entiti program akan dilewatkan sehingga masa tertentu yang telah ditetapkan. Selepas itu, Modul Memutuskan akan membuat pengecaman sama ada masih ada kenderaan yang melalui jalan tersebut. Sekiranya ada, entiti program akan dilewatkan sebelum membuat pengecaman semula. Sekiranya tiada kenderaan yang lalu, isyarat awal untuk bertukar ke lampu isyarat merah akan diberikan seterusnya entiti program akan bergerak ke fasa seterusnya.

Bagi Model IV, terdapat sedikit penambahan modul bagi mensimulasikan rutin perjalanan “*turn right with care*” di lorong C dan D. Bagi submodel ini, terdapat tambahan modul pegang tambahan untuk mengimbangi bahawa tiada keadaan di arah bertentangan sebelum melepaskan kereta berpusing ke kanan. Rajah 3 menunjukkan contoh submodel bagi jalan C bagi model IV.

5. Hasil Kajian

Setelah selesai proses pentahkikan, model simulasi dijalankan bagi memperoleh keputusan. Bagi memastikan jawapan yang diperolehi adalah di bawah peratus ralat yang diterima, tetapan jumlah replikasi yang sesuai telah dikira menggunakan rumus yang diguna pakai oleh Kamrani *et al.* (2014):

$$N_m = \left(\frac{s(m) \times t_{m-1, 1-\frac{\alpha}{2}}}{\bar{x}(m) \times \varepsilon} \right)^2 \quad (1)$$

dengan N_m adalah jumlah replikasi, $s(m)$ adalah sisihan piawai data, t adalah ujian statistik diperoleh daripada jadual- t , m adalah nombor replikasi asal yang dianggap bernilai 10, α adalah nilai selang keyakinan 90%, $\bar{x}(m)$ adalah min data dan ε adalah peratus ralat yang diterima. Peratus ralat yang diterima adalah 10 peratus dengan $t_{9, 0.95}$ ialah 1.833.

Data dari lorong B1 diguna pakai dalam pengiraan rumus (1) kerana lorong B1 adalah lorong yang mempunyai jumlah kenderaan yang banyak pada setiap masa. Ini menjadikan data pada lorong B1 sebagai data yang stabil dan kukuh. Jadual 4 menunjukkan pengiraan berdasarkan 10 replikasi awal. Min data bagi masa menunggu pada lorong B1 yang diperolehi adalah 18.2646 saat dan sisihan piawai yang diperolehi pula sebanyak 2.4014 saat.

Jadual 4: Masa menunggu bagi Lorong B1 bagi 10 replikasi awal

Bil replikasi	Masa menunggu (s)
1	15.95
2	17.18
3	17.61
4	18.41
5	16.62
6	20.86
7	18.57
8	17.09
9	16.15
10	24.21

Nilai N_m , iaitu jumlah replikasi yang diperoleh dari rumus (1) adalah sebanyak 5.81 replikasi. Memandangkan tempoh replikasi awal yang digunakan adalah sebanyak 10 replikasi, maka jumlah ini sudah memadai untuk memperoleh selang keyakinan 10 peratus. Selain itu, tempoh “warm-up” turut digunakan sebanyak 5 minit berdasarkan Rajah 4 yang jumlah kenderaan bagi lorong A1 menjadi stabil selepas masa yang ditandakan dengan garisan terputus. Jumlah masa replikasi pula ditetapkan pada 65 minit bagi mengambil kira tempoh “warm-up” tersebut.

5.1 Pengesahan model

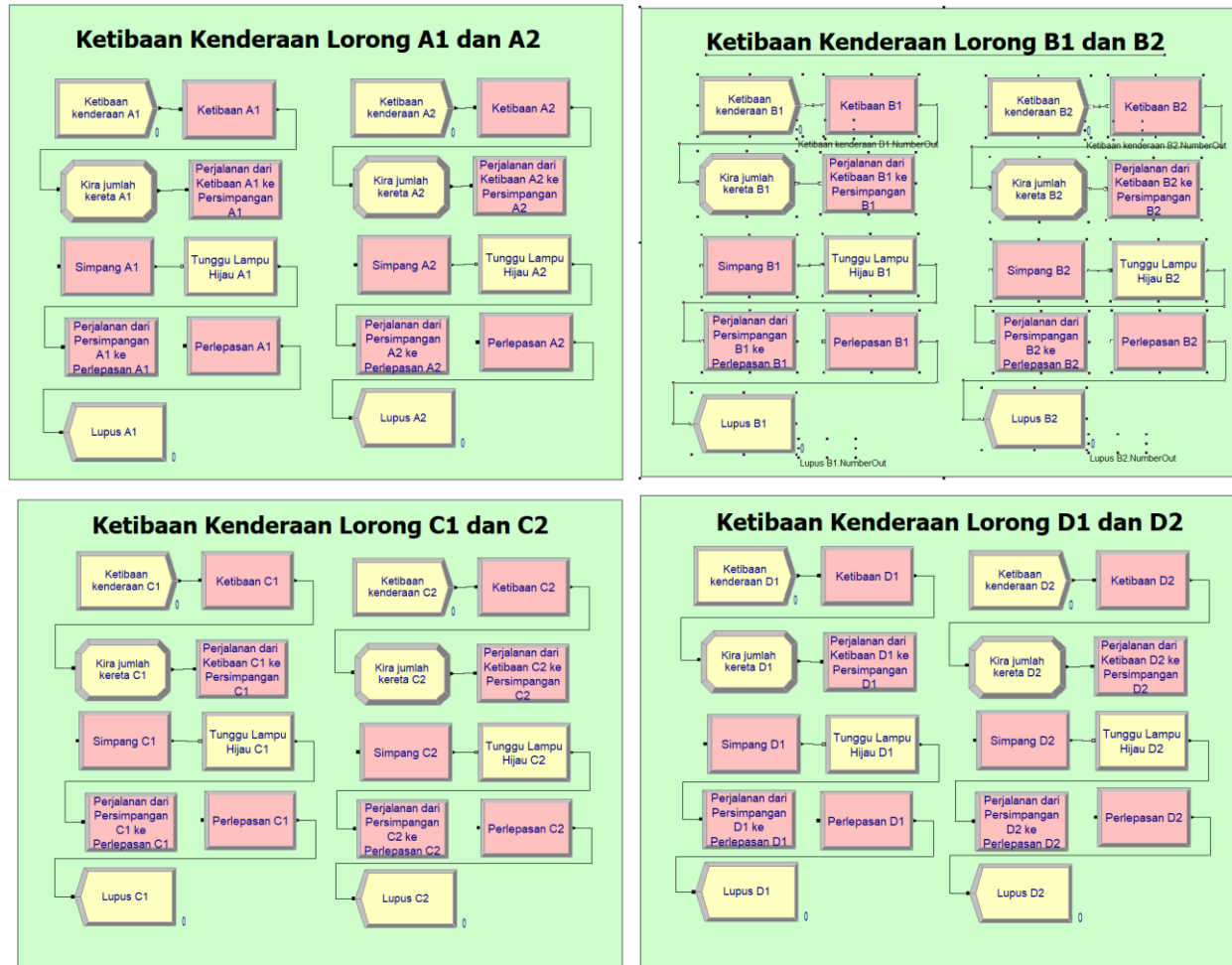
Keputusan yang diperoleh daripada simulasi model asal telah dibandingkan dengan data asal bagi memeriksa ketepatan model simulasi. Rumus berikut telah digunakan bagi mendapatkan peratusan ralat.

$$\text{Peratusan ralat (\%)} = \frac{|\text{Output simulasi} - \text{Output sebenar}|}{\text{Output sebenar}} \times 100\% \quad (2)$$

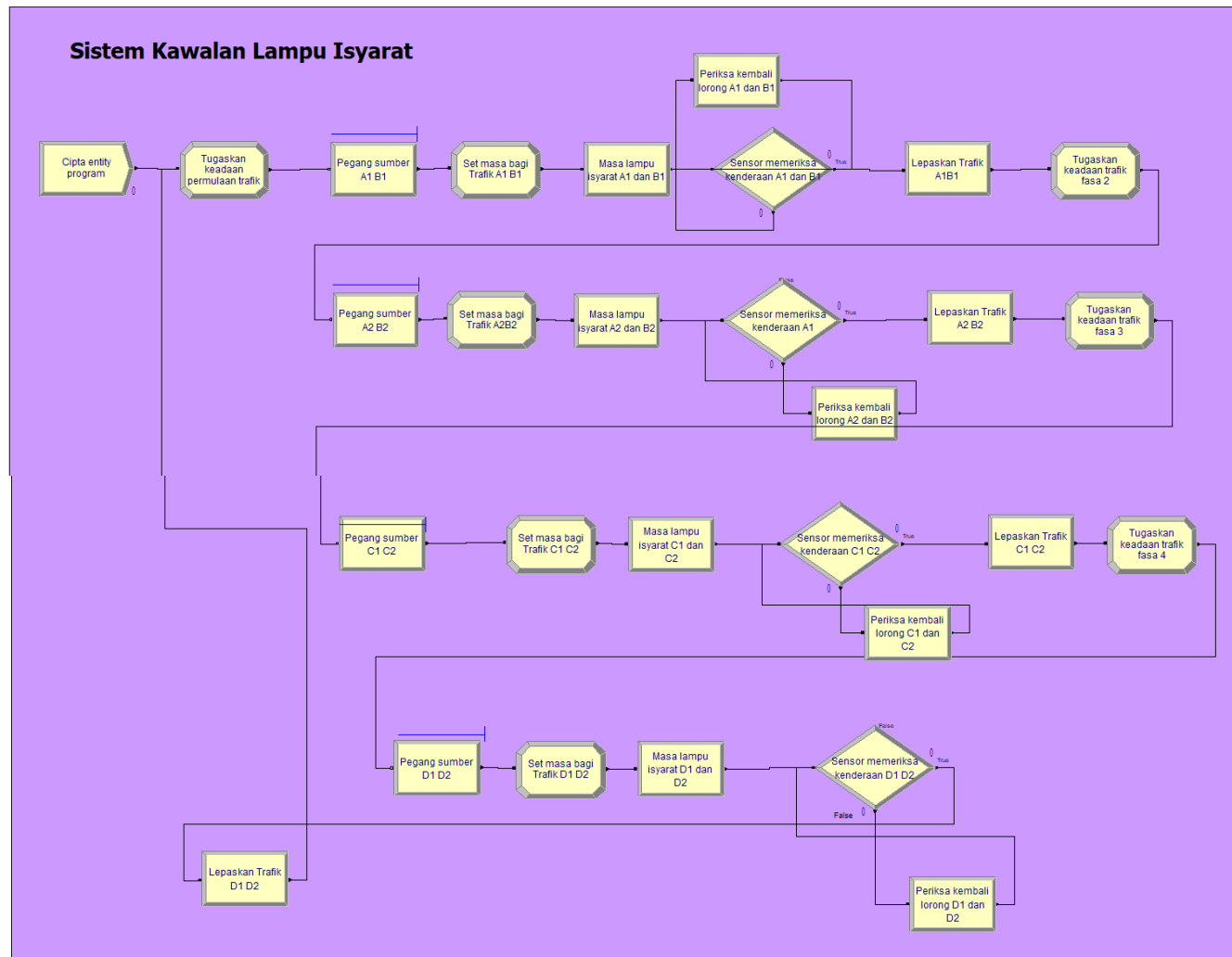
Keputusan yang dibandingkan adalah purata jumlah kereta yang keluar dari setiap lorong selepas satu jam beroperasi daripada model simulasi dengan jumlah kenderaan yang diperoleh daripada data sebenar. Jadual 5 menunjukkan perbandingan ralat bagi hasil larian simulasi dengan data sebenar. Memandangkan majoriti peratusan ralat yang ditunjukkan adalah tidak melebihi sepuluh peratus, maka model ini diterima ketepatannya dengan sistem sebenar.

Jadual 5: Peratus ralat hasil larian simulasi setiap persimpangan bagi purata jumlah kereta yang keluar dari setiap lorong selepas satu jam beroperasi

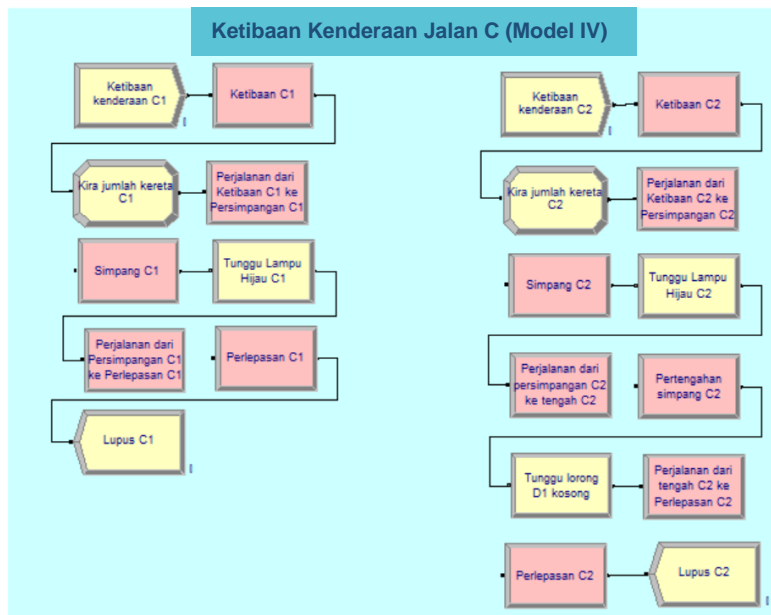
Lorong	Peratus ralat (%) di persimpangan X	Peratus ralat (%) di persimpangan Y	Peratus ralat (%) di persimpangan Z
Lorong A1	3.6	2.0	0.0
Lorong A2	10.5	9.3	1.9
Lorong B1	4.2	2.2	10.0
Lorong B2	10.4	10.8	6.1
Lorong C1	2.8	3.2	4.9
Lorong C2	10.0	4.1	7.3
Lorong D1	9.1	4.8	2.0
Lorong D2	9.3	9.5	10.2



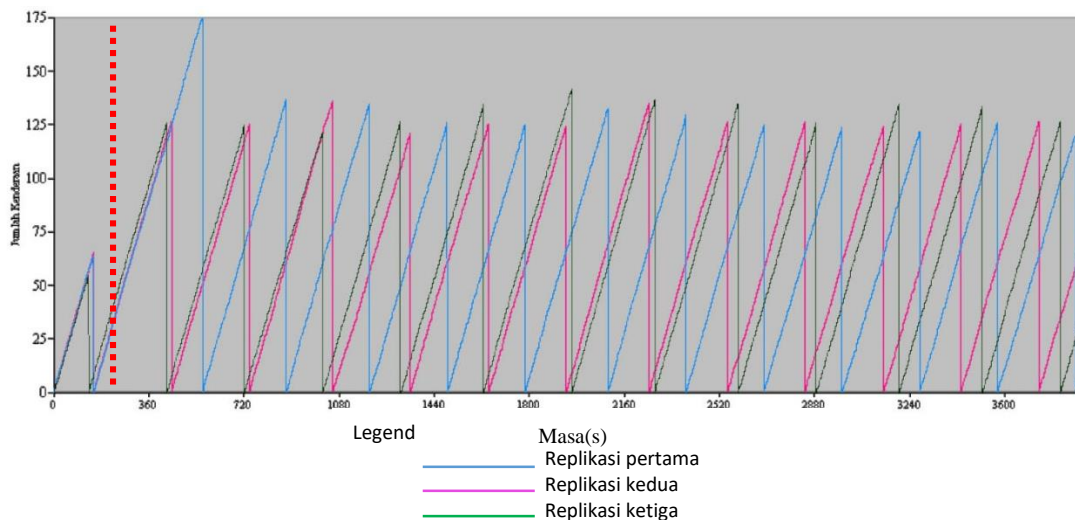
Rajah 2(a): Susun atur model simulasi – ketibaan kenderaan di setiap lorong



Rajah 2(b): Susun atur model simulasi – sistem kawalan lampu isyarat



Rajah 3: Submodel ketibaan kenderaan khas bagi model IV



Rajah 4: Jumlah kereta di lorong A1 selepas 3 replikasi

5.2 Perbincangan

Hasil daripada larian model simulasi bagi persimpangan X, Y dan Z, dua pemboleh ubah yang perlu diberi perhatian adalah purata masa menunggu bagi setiap kenderaan di setiap lorong dan juga purata jumlah kereta yang menunggu. Masa menunggu yang terlalu lama boleh mengakibatkan tekanan kepada pemandu, manakala jumlah kereta menunggu yang tinggi akan menambahkan kesesakan lalu lintas di setiap persimpangan itu sendiri. Jadual 6 dan Jadual 7

menunjukkan purata masa menunggu dan jumlah kereta yang menunggu di setiap persimpangan.

Jadual 6: Purata masa menunggu (s) di setiap persimpangan daripada hasil larian simulasi

Persimpangan	X	Y	Z
Lorong A1	47.70	45.28	51.54
Lorong A2	49.78	109.79	53.02
Lorong B1	37.77	36.55	48.98
Lorong B2	49.07	94.71	48.71
Lorong C1	81.94	93.56	75.31
Lorong C2	83.29	94.15	73.90
Lorong D1	70.08	104.29	88.96
Lorong D2	68.43	106.12	88.62

Jadual 7: Purata jumlah kereta menunggu di setiap persimpangan daripada hasil larian simulasi

Persimpangan	X	Y	Z
Lorong A1	13.37	18.53	8.44
Lorong A2	4.06	8.09	2.51
Lorong B1	15.76	14.23	10.00
Lorong B2	4.23	7.09	2.22
Lorong C1	3.08	8.83	1.75
Lorong C2	2.28	15.50	2.96
Lorong D1	2.20	5.18	1.25
Lorong D2	4.00	6.75	2.93

Berdasarkan Jadual 6 dan 7, beberapa perkara boleh dikenal pasti. Bagi persimpangan X, terdapat masa menunggu yang tinggi bagi kereta di lorong C dan D berbanding dengan lorong A dan B. Ini kerana sistem lampu isyarat di persimpangan X memperuntukkan masa yang lebih lama bagi mengeluarkan kereta dari lorong A dan B. Ini menyebabkan kereta dari lorong C dan D perlu menunggu dengan lebih lama bagi menunggu lampu isyarat mereka berubah menjadi hijau. Walau bagaimanapun, purata jumlah kereta yang agak tinggi di lorong A dan B menunjukkan keperluan bagi pihak pengurusan Jabatan Kerja Raya meletakkan sistem susunan sebegini pada waktu ini.

Bagi persimpangan Y, kereta dari lorong A2, B2, C dan D perlu menunggu secara purata lebih dari 90 saat sebelum isyarat lampu bertukar hijau. Hal ini kerana persimpangan Y mempunyai 5 fasa susunan lampu isyarat menjadikan masa menunggu setiap lorong akan bertambah lama. Malahan, lorong A1 dan B1 mempunyai peruntukan masa lampu isyarat hijau yang lebih lama berbanding dengan lorong lain, iaitu secara purata sebanyak 2 minit berbanding dengan lorong lain yang masing-masing memperoleh isyarat lampu hijau selama 1 minit. Oleh sebab itu, masa menunggu di lorong C dan D menjadi lama. Selain dari itu, jadual 5.6 turut menunjukkan jumlah purata kereta yang menunggu di lorong C2 agak tinggi yang hampir menyamai jumlah kereta dari jalan utama A dan B. Ini kerana faktor geografi yang memainkan peranan di mana kereta dari lorong C2 datangnya dari kawasan perumahan yang padat.

Akhir sekali, persimpangan Z menunjukkan corak yang sama, iaitu masa menunggu yang lama di lorong C dan D berbanding dengan jalan utama A dan B. Walaupun purata jumlah kenderaan yang menunggu di lorong C dan D adalah rendah, mereka tetap perlu memberi keutamaan yang lebih kepada kereta di lorong utama A dan B.

5.3 Perbandingan keputusan dengan model alternatif

Berdasarkan permasalahan yang telah ditemui, simulasi model I, II, III, IV dan V telah dibuat terhadap persimpangan X, Y dan Z untuk mendapatkan model yang terbaik untuk diaplikasikan di setiap persimpangan.

Jadual 8: Ringkasan model alternatif terbaik bagi kesemua persimpangan

Persimpangan	Model alternatif yang boleh dilaksanakan
Persimpangan X	Model IV Model V
Persimpangan Y	Model IV Model V
Persimpangan Z	Model IV Model II

Jadual 8 menunjukkan ringkasan model alternatif yang terbaik bagi sistem lampu isyarat di setiap persimpangan. Jadual 9 dan 10 pula menunjukkan perbandingan keputusan model asal persimpangan X, Y dan Z dengan model alternatif untuk persimpangan masing-masing. Bagi persimpangan X, Model IV menunjukkan penurunan purata masa menunggu di semua lorong manakala bilangan kenderaan juga berkurangan di semua lorong kecuali lorong A2 dan B2. Model V pula menunjukkan purata masa menunggu dan purata bilangan kenderaan yang menunggu berkurangan di semua lorong kecuali lorong A2 dan B2. Justeru, dapat disimpulkan bahawa model IV merupakan model yang paling efisien untuk mengurangkan masa menunggu di persimpangan X.

Bagi persimpangan Y pula, Model IV dapat mengurangkan masa menunggu di semua lorong terutamanya bagi jalan utama dengan purata 45.28 s kepada 28.13 s pada lorong A1 dan purata 36.55 s kepada 19.60 s bagi lorong B1. Tambahan lagi, berlaku pengurangan jumlah kenderaan yang menunggu secara signifikan di semua lorong apabila Model IV diaplikasikan. Manakala pelaksanaan Model V juga menunjukkan berlaku pengurangan purata masa menunggu dan purata jumlah kenderaan yang menunggu di semua lorong. Walau bagaimanapun, terdapat penambahan purata masa menunggu dan purata jumlah kenderaan yang menunggu di lorong D1 dan D2. Memandangkan lorong D1 dan D2 bukanlah laluan utama di waktu puncak, Model V juga boleh diaplikasikan di Persimpangan Y kerana kenaikan masa menunggu dan jumlah kenderaan yang menunggu adalah tidak terlalu tinggi. Justeru, Model IV boleh digunakan untuk mengurangkan masa menunggu di Persimpangan Y diikuti dengan Model V.

Seterusnya, keputusan kajian menunjukkan Model III, iaitu model asal bagi Persimpangan Z merupakan model yang paling kurang efisien untuk dilaksanakan di persimpangan tersebut. Hal ini kerana, kesemua model lain menunjukkan pengurangan purata masa menunggu dan purata jumlah kenderaan yang menunggu di semua lorong kecuali lorong A2 dan B2. Memandangkan jalan A2 dan B2 bukanlah jalan utama bagi kebanyakan kenderaan pada waktu puncak, pertukaran kepada mana-mana model sistem lampu isyarat lain adalah sangat digalakkan. Walau bagaimanapun, Model IV dilihat sebagai model terbaik untuk dilaksanakan kerana dapat mengurangkan hampir 50 peratus purata masa menunggu dan 45 peratus jumlah kenderaan yang menunggu bagi lorong utama A1 dan B1. Selain model IV, model yang

Jadual 9: Perbandingan purata masa menunggu model asal dengan model alternatif bagi setiap persimpangan

Lorong	A1	A2	B1	B2	C1	C2	D1	D2
i) -Model asal persimpangan X	47.70	49.78	37.77	49.07	81.94	83.29	70.08	68.43
-Model IV	18.69	47.53	18.60	47.89	37.61	37.78	36.95	36.89
-Model V	24.30	55.18	24.61	55.73	47.85	45.68	63.01	63.42
ii) -Model asal persimpangan Y	45.28	109.79	36.55	94.71	93.56	94.15	104.29	106.12
-Model IV	28.13	87.55	19.60	72.69	72.04	72.05	73.32	71.47
-Model V	38.88	101.94	30.10	86.46	86.47	86.59	112.39	112.81
iii) -Model asal persimpangan Z	51.54	53.02	48.98	48.71	75.31	73.90	88.96	88.62
-Model IV	25.28	64.48	24.89	64.22	47.42	47.65	49.01	56.72
-Model II	31.73	57.48	31.92	68.73	57.95	60.19	56.72	59.33

Jadual 10: Perbandingan purata bilangan kereta menunggu model asal dengan model alternatif bagi setiap persimpangan

Lorong	A1	A2	B1	B2	C1	C2	D1	D2
i) -Model asal persimpangan X	13.37	4.06	15.76	4.23	3.08	2.28	2.20	4.00
-Model IV	5.61	4.15	6.58	4.58	1.49	1.14	1.22	2.27
-Model V	7.22	4.74	8.73	5.51	1.91	1.37	2.09	3.89
ii) -Model asal persimpangan Y	18.53	8.09	14.23	7.09	8.83	15.50	5.18	6.75
-Model IV	11.48	6.59	7.75	5.50	6.90	12.06	3.71	4.64
-Model V	16.31	7.85	11.66	6.51	8.27	14.43	5.69	7.19
iii) -Model asal persimpangan Z	8.44	2.51	10.00	2.22	1.75	2.96	1.25	2.93
-Model IV	4.58	3.40	5.87	3.41	1.25	2.21	0.74	1.78
-Model II	5.13	3.12	6.69	3.25	1.36	2.46	0.72	1.95

menunjukkan kecekapan yang lebih baik berbanding dengan model asal adalah model II. Model II dapat mengurangkan purata masa menunggu bagi lorong A1 sebanyak 38 peratus dari 51.54 s kepada 31.73 s. Manakala purata jumlah kenderaan menunggu dapat dikurangkan sebanyak 39 peratus dari purata 8.44 jumlah kenderaan yang menunggu kepada purata 5.13 jumlah kenderaan.

6. Rumusan

Kajian ini bertujuan untuk membuat simulasi sistem kawalan lampu isyarat di beberapa persimpangan utama dalam bandar raya Melaka seterusnya melihat keberkesanan sistem lampu isyarat sedia ada dan mencadangkan penambahbaikan dengan mengubah susunan fasa lampu isyarat. Selain itu, penyelidikan ini berhasrat untuk mengaplikasikan sistem lampu isyarat yang diamalkan di luar negara kepada keadaan trafik sedia ada di Malaysia. Model simulasi menggunakan perisian Arena 14.5 telah dibina dan dilarikan. Data yang diperoleh telah dibandingkan dengan data sebenar bagi mengesahkan model yang telah dibina. Kemudian, lima model simulasi dilaksanakan mengikut trafik di Persimpangan X, Y dan Z. Perbandingan purata masa menunggu dan purata jumlah kenderaan menunggu dibuat untuk memilih model yang sesuai dilaksanakan di persimpangan tersebut.

Kesimpulannya, Model IV adalah model yang terbaik untuk digunakan di ketiga-tiga persimpangan lampu isyarat X, Y dan Z. Model ini merupakan susunan pergerakan kenderaan di persimpangan lampu isyarat yang telah diamalkan di luar negara. Namun, beberapa faktor perlu diambil kira sekiranya Model IV ini ingin dilaksanakan di Malaysia. Antaranya perbezaan tingkah laku pemandu di luar negara dengan keadaan tingkah laku pemandu di negara ini, keadaan geografi jalan raya sedia ada serta penerimaan masyarakat untuk melaksanakan perubahan sistem lampu isyarat. Pelaksanaan model ini juga perlu dibuat bersama dengan siri pendidikan kepada pemandu di negara ini agar tatasusila dan adab pemanduan yang baik dibudayakan. Konsep “*right of way*” perlu dihormati oleh setiap pemandu supaya implimentasi model ini berjalan dengan baik. Selain itu, denda yang tinggi dan hukuman yang tegas perlu dikenakan terhadap mereka yang melanggar undang-undang jalan raya sebagai pengajaran kepada pemandu yang tidak mematuhi undang-undang yang ditetapkan. Justeru, pihak berwajib perlu meneliti dan membuat perancangan rapi sekiranya Model IV ingin dipraktikkan di Malaysia. Oleh yang demikian, Model V bagi Persimpangan X dan Y serta Model II untuk Persimpangan Z boleh dijadikan alternatif untuk mengurangkan kesesakan lalu lintas kerana model ini tidak memerlukan perubahan yang besar dari pihak berkuasa tempatan.

Rujukan

- Abdul-Yasser A.F., Rosnah M.Y., Faieza A.A. & Norzima Z. 2011. Simulation of “time-based” versus “sensor-based” traffic light system. 2011 IEEE 3rd International Conference on Communication Software and Networks, hlm. 789-792.
- Abu Bakar S. 2018. Kesesakan di Melaka bakal diatasi. *Utusan Online*, 9 Mac.
- Albagul A., Hairi M., Wahyudi & Hidayatullah M.F. 2006. Design and development of sensor based traffic light. *American Journal of Applied Science* 3(3): 1745-1749
- Al-Refaie A., Fouad R.H., Li M.H. & Shurrah M. 2014. Applying simulation and DEA to improve performance of emergency department in a Jordanian Hospital. *Simulation Modelling Practice and Theory* 41: 59-72.
- Carson II J.S. 2005. Introduction to modeling and simulation. *Proceedings of the 2005 Winter Simulation Conference*, hlm. 16-23.
- Coleri S., Cheung S.Y. & Varaiya P. 2004. Sensor Networks for Monitoring Control. Department of Electrical Engineering and Computer Science, University of California, Berkeley.
- Hambali F. & Liong C.-Y. 2014. Penggunaan simulasi Arena untuk meningkatkan prestasi perkhidmatan dobi. *Journal of Quality Measurement and Analysis* 10(2): 65-75.
- Hani Y., Amodeo L., Yalaoui F. & Chen H. 2008. Simulation based optimization of a train maintenance facility. *Journal of Intelligent Manufacturing* 19(3): 293-300.
- Hazrat M.A., Kurokawa S. & Shafie A.A. 2013. Autonomous road surveillance system: a proposed model for vehicle detection and traffic signal control. *Procedia Computer Science* 19: 963-970.
- Isyanto H., Fadliandi F. & Aprinol A. 2016. Simulasi studi sistem trafik light terintegrasi pada perlintasan kereta api. *eLEKTUM* 13(2): 26-35.
- JKR. 1987. *A Guide to the Design of Traffic Signals*. Jabatan Kerja Raya, Malaysia.
- Kamran M.A., Ramezani H., Masoumzadeh S. & Nikkhoo F. 2017. Traffic light signal timing using simulation. *Communications on Advanced Computational Science with Application* 2017(1): 1-11.
- Kamrani M., Abadi S.M.H.E. & Golroudbary S.R. 2014. Traffic simulation of two adjacent unsignalized T-junction during rush hours using Arena software. *Simulation Modelling Practice and Theory* 49: 167-179.
- Kelton W.D., Sadowski R.P. & Swets N.B. 2010. *Simulation with Arena*. Ed. ke-5. New York: McGraw Hill.

- Li X., She Y., Luo D. & Yu Z. 2013. A traffic state detection tool for freeway video surveillance system. *Procedia – Social and Behavioral Sciences* **96**: 2453-2461.
- Marasini R. & Dawood N. 2002. Simulation modeling and optimization of stockyard layouts for precast concrete products. *Proceedings of the 34th conference on Winter simulation: exploring new frontiers*, hlm. 1731-1736.
- Morlok E.K. 1978. *Introduction to Transportation Engineering and Planning*. New York: McGraw-Hill.
- Muaz G. 2014. Sistem Kawalan Lampu Isyarat. *Buletin ICT Negeri Melaka*, Disember: 3-9.
- Muhammad Zulqarnain H.A.J., Mohd Kamal M.N., Wan Laailatul Hanim M.D., Ruzelan K., Waleed K.A. & Razamin R. 2017. Green supply chain: simulating road traffic congestion. *Journal of Physics: Conference Series* **890**(1): 1-8.
- Othman C.P. 2004. Driver's car following headway on single carriageway roads. *Malaysian Journal of Civil Engineering* **16**(2): 15-27.
- Ruzanita M.R. & Wan Rosmanira I. 2013. An alternative approach in operator allocation labor intensive manufacturing system: A three-phase methodology framework. *Proceedings of the 20th National Symposium on Mathematical Sciences*, hlm. 1401-1405.
- Tama I.P., Sari R.A. & Faishol U. 2016. Analisa durasi lampu lalu lintas menggunakan metode simulasi. *JTI UB Publishing* **4**(2): 130-140
- Yuniawan D., Fajar P.P.A., Hariyanto S. & Setiawan R. 2018. Traffic queue modelling using Arena simulation software (A case study of Mergan 4-way intersection in Malang city). *MATEC Web of Conferences* 204(02010): 1-6.

*Jabatan Sains Matematik
Fakulti Sains dan Teknologi
Universiti Kebangsaan Malaysia
43600 UKM Bangi
Selangor DE
MALAYSIA*

E-mail: lg@ukm.edu.my, zahidsyahmi@gmail.com, sakhinah@ukm.edu.my, fatima84@ukm.edu.my*

Diserahkan: 2 Jun 2020

Diterima: 2 Julai 2020

*Pengarang penghubung