

Penilaian Kawalan Lampu Isyarat Terpisah Berbilang Kaedah

Riza Atiq bin O.K. Rahmat, Kasmiran bin Jumari,
Azmi bin Hassan dan Hassan bin Basri

ABSTRAK

Sering kali diperhatikan panjang baris-gilir pada jalan-jalan tuju persimpangan berlampaui syarat sangat tidak seimbang pada masa-masa puncak dan selalunya polis trafik akan mengambil alih kawalan. Di antara sebab utama ialah lampu-lampu isyarat tersebut tidak dioptimumkan dan tidak dapat mengesan permintaan lalu lintas yang sebenar. Bagi mengatasi masalah ini, sistem kawalan lalu lintas yang dibangunkan menggunakan kaedah tergerak kenderaan ketika aliran lalu lintas rendah, kaedah pengoptimuman ketika aliran lalu lintas tinggi dan kaedah lagak kawalan polis ketika kesesakan. Lampu isyarat ini juga menggunakan sistem pengesan video sebagai penderia untuk mendapatkan permintaan lalu lintas sebenar. Berdasarkan ujian lapangan, kaedah kawalan ini didapati telah dapat mengurangkan jumlah baris gilir sehingga 33% daripada sistem konvensional. Dalam keadaan kesesakan lalu lintas pula kaedah ini telah mengurangkan panjang baris gilir sehingga 9% dan mengurangkan lengah sehingga 10% berbanding dengan kawalan secara insani oleh polis.

Katakunci: Tergerak kenderaan, pengoptimuman, algoritma genetik, lagak tindakan polis

ABSTRACT

It is frequently observed that the queue lengths on the approach roads at a signalised intersection are imbalanced during peak hours and in many cases a traffic marshall has to control the intersection manually. This problem is partly due to the inability of the conventional system to be optimised and to get the actual traffic demand. To overcome these two problems, the traffic control system developed in this project adopts vehicle actuated control, optimised control and traffic marshall emulation control during low, high and congested traffic demand respectively. The system utilised a video detection system as the sensor to detect the real traffic demand. Experimental data show that the control system is found to reduce the sum of queue length by 33% as compared to the conventional system. During congested period the proposed system reduced queue length by 9% and delay by 10% as compared to manual control by traffic marshall.

Keywords: Vehicle actuated, optimisation, genetic algorithm, police action emulation

PENGENALAN

Lampu isyarat terpisah banyak digunakan di kawasan-kawasan tepi bandar atau di luar bandar di mana jarak dari satu persimpangan ke persimpangan lain melebihi 1.5 km. Kaedah kawalan berbeza-beza dari satu persimpangan ke persimpangan yang lain. Terdapat persimpangan menggunakan kaedah masa tetap, masa berubah-ubah mengikut jadual waktu dan ada juga yang menggunakan kaedah tergerak kenderaan. Di negara-negara maju penggunaan pemproses mikro untuk membolehkan lampu-lampu isyarat menentukan masa kitar dan pecahan masa hijau dengan pintar telah mula digunakan. Sensor yang digunakan oleh lampu-lampu isyarat ini lazimnya ialah gelung induksi.

KAEADAH-KAEDAH KAWALAN LAMPU ISYARAT TERPISAH

Terdapat beberapa kaedah asas dalam menentukan masa kitar dan pecahan masa hijau yang digunakan dalam kawalan lalu lintas. Kaedah yang lazim digunakan ialah kaedah Webster. Di samping itu terdapat juga kaedah-kaedah moden yang menggunakan pemproses mikro dan pintar buatan.

KAEADAH WEBSTER

Masa kitar ialah urutan lampu isyarat dari mula hingga akhir. Ia merupakan jumlah keseluruhan set fasa-fasa lampu isyarat. Masa kitar jika terlebih panjang akan memanjangkan lengah manakala yang terkurang pula boleh menimbulkan bahaya kepada pejalan kaki yang menyeberang dan juga menambahkan lengah akibat bertambahnya jumlah masa untuk berbenti dan memecut (Papacostas & Prevedouros 1993).

Masa kitar yang sesuai boleh dikira dengan kaedah Webster seperti berikut (Webster 1966):

$$C_o = (1.5L + 5)/(1 - Y), \quad (1)$$

dengan C_o = Masa kitar optimum dalam saat, L = Masa hilang dalam satu kitar yang mengandungi masa kenderaan hendak bergerak semula apabila hijau ditolak dengan masa kuning yang digunakan oleh pemandu-pemandu untuk melepas lampu isyarat. 3 hingga 4 saat adalah anggaran masa yang biasa digunakan, Y = Jumlah nisbah aliran lalu lintas yang genting dengan aliran tepu jalan tuju.

Kaedah Webster yang telah berusia 34 tahun itu masih digunakan dengan sangat meluas hingga kini. Walaupun demikian, ia mempunyai kelemahan. Kelemahan ini berlaku apabila isi padu aliran lalu lintas menghampiri kadar aliran tepu, iaitu ketika nilai Y menghampiri 1.0. Ini menyebabkan pembawah persamaan 1 menjadi sangat kecil dan seterusnya menyebabkan nilai masa kitar, C_o , menjadi sangat besar dan akan menjadi ∞ apabila Y menjadi 1.0. Bagi mengatasi ini pengiraan masa kitar dihadkan sehingga nilai Y bersamaan 0.9 dan masa kitar dihadkan kepada 120 saat sahaja.

KAEADAH HIGHWAY CAPACITY MANUAL

Kedah yang diberikan dalam *Highway Capacity Manual* (1994) adalah seperti berikut:

$$X_c = \sum(v/s)_{ci} [C / (C - L)], \quad (2)$$

dengan X_c = nisbah v/c genting bagi persimpangan berkenaan, $\sum(v/s)_{ci}$ = jumlah nisbah aliran bagi semua kumpulan lorong genting, i , C = masa kitar, L = masa hilang dalam satu kitar yang mengandungi masa kenderaan hendak bergerak semula apabila hijau ditolak dengan masa kuning yang digunakan oleh pemandu-pemandu untuk melepas lampu isyarat, v = isi padu lalu lintas dalam unit kenderaan penumpang setiap jam, s = aliran tepu, dan c = muatan. Persamaan dua boleh disusun semula untuk mendapatkan masa kitar yang sesuai menjadi:

$$C = L X_c / [\sum(v/s)_{ci}]. \quad (3)$$

KAEDAH TERGERAK KENDERAAN

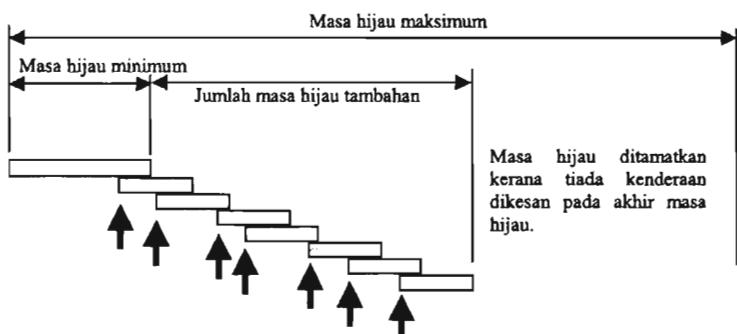
Kaedah ini adalah kaedah yang paling sederhana yang boleh menyesuaikan kawalan dengan aliran lalu lintas. Ia memerlukan sensor untuk mengesas kenderaan supaya masa hijau boleh diperpanjang apabila permintaan lalu lintas bertambah. Pada asasnya ia memberikan masa hijau minimum dan maksimum kepada setiap fasa. Ketika lampu hijau menyala, ia akan diberikan masa minimum. Apabila ada kenderaan dikesan pada dalam satu julat masa di penghujung masa hijau itu, masa hijau tambahan diberikan. Tambahan demi tambahan akan diberikan apabila ada kenderaan dikesan sehingga ia mencapai masa maksimum. Tambahan-tambahan masa ini ditunjukkan dalam Rajah 1.

Dalam kaedah tergerak kenderaan yang biasa dipasang, gelung induksi digunakan sebagai pengesan kenderaan. Amalan yang lazim di Malaysia, pengesan ini ditempatkan berhampiran garisan berhenti. Amalan yang biasa di Amerika Syarikat pula, pengesan ini ditempatkan 29 meter dari garisan berhenti bagi lalu lintas berkelajuan rendah seperti di bandar (Kell & Fullerton 1991). Masalah dengan kedudukan pengesan seperti ini ialah masa hijau dan kuning masih lagi diberikan walaupun kenderaan terakhir telah melepas persimpangan. Cassidy et al. 1996 telah mencadangkan supaya pengesan ini ditempatkan 44 meter dari garisan berhenti dan mereka mendapati lengah telah dapat dikurangkan sehingga 30%.

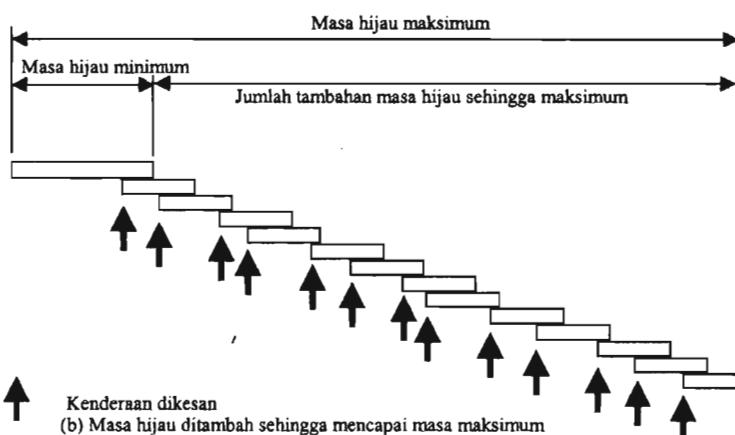
KAEDAH PENOPTIMUMAN

Dalam kaedah Webster, seperti yang telah diterangkan di atas nilai Y perlu dihadkan kepada 0.9 atau masa kitar dihadkan kepada satu nilai yang ditetapkan apabila aliran lalu lintas meningkat. Perkara ini menimbulkan masalah lain pula, iaitu pengagihan masa hijau yang tidak tepat. Masalah yang sama juga berlaku kepada kaedah *Highway Capacity Manual* kerana nilai $\sum(v/s)_{ci}$ dalam persamaan (3) akan menjadi sama atau lebih besar dari X_c .

Kaedah tergerak kenderaan pula akan mengalami masa-masa hijau yang mencapai nilai maksimum apabila aliran lalu lintas tinggi. Pada masa ini ia akan bertindak sama seperti lampu isyarat kawalan masa tetap. Oleh kerana masa maksimum yang ditetapkan bukanlah masa yang optimum, ia akan menyebabkan lengah dan panjang baris-gilir tidak seimbang antara jalan-jalan tuju.



(a) Masa hijau ditamatkan sebelum masa hijau maksimum dicapai kerana tiada kenderaan dikesan pada masa tambahan terakhir



RAJAH 1. Operasi lampu isyarat tergerak kenderaan

Ini menunjukkan dalam keadaan aliran lalu lintas yang menghampiri tahap tepu pengoptimuman perlu dilakukan.

Bagi mengatasi masalah masa hijau maksimum yang tidak optimum dalam kaedah tergerak kenderaan, MOVA (Microprocessor Optimised Vehicle Actuation) telah dibangunkan oleh Transport and Road Research laboratory (TRRL) pada tahun 1980an dan telah mula digunakan pada akhir tahun 1990an (Japs 1999 dan Spence & Vincent 1999).

Dalam masa yang sama Pentadbiran Jalan Raya Sweden telah memulakan kajian untuk membuat sistem lampu isyarat yang diberi nama LHOVRA yang berfungsi seperti MOVA. Sistem ini telah dikemaskin pada tahun 1991 (Kromborg & Davidsson 1993).

MOVA menggunakan tiga gelung induksi bagi setiap lorong jalan tuju manakala LHOVRA menggunakan tiga gelung yang lebar bagi merangkumi semua lorong jalan tuju. Gelung-gelung ini diletakkan pada garisan berhenti, 45 meter dan 150 meter dari garisan berhenti. Parameter aliran lalu lintas seperti isi padu dan kewujudan baris-gilir akan diperolehi dengan menggunakan gelung-gelung ini. Data ini seterusnya akan digunakan untuk mengoptimumkan lampu isyarat berkenaan.

Pengoptimuman dilakukan dengan menggunakan model lalu lintas. Dengan model ini bilangan kenderaan di antara gelung di garisan berhenti dengan yang ketiga dianggarkan. Seterusnya masa hijau akan ditambahkan

sehingga sampai hadnya apabila didapati aliran lalu lintas dari satu-satu jalan tuju itu tepu.

OPAC (Optimisation Policies for Adaptive Control) juga bertujuan untuk pemberian masa hijau yang optimum (Gartner et al. 1991). Ia dibangunkan oleh University of Lowell di bawah tajaan kerajaan Amerika Syarikat. Ia mengoptimumkan operasi lampu isyarat dengan meminimumkan fungsi objektif yang mengandungi lengah dan berhenti.

CADANGAN PENGOPTIMUMAN LAMPU ISYARAT

Terdapat berbagai-bagai kaedah pengoptimuman yang biasa dilakukan. Dalam hal lampu isyarat, kaedah yang digunakan perlu mempunyai kriteria berikut:

- Masalah pengoptimuman lampu isyarat adalah *polinomial tak tertentu*. Oleh itu kaedah pengoptimuman mestilah sesuai dengan masalah itu.
- Kaedah yang digunakan mestilah tidak akan terperangkap dalam optimum tempatan.
- Kaedah ini mestilah cepat supaya ia boleh digunakan dalam masa sebenar.

Kaedah yang dipilih dalam kajian ini dan boleh memenuhi kriteria di atas ialah Algoritma Genetik.

PERWAKILAN MASALAH

Terdapat beberapa masalah yang boleh dioptimumkan dalam lampu isyarat. Satu cara ialah meminimumkan lengah. Satu lagi ialah dengan memaksimumkan aliran lalu lintas atau meminimumkan berhenti-bergerak. Akan tetapi apa yang akan berlaku apabila ketiga-tiga perkara ini dioptimumkan ialah lampu isyarat akan memberikan aliran tanpa sekatan kepada aliran utama dan menyekat aliran sekunder.

Dalam kajian ini perkara yang dicadangkan untuk dioptimumkan ialah meminimumkan perbezaan lengah pada jalan-jalan tuju. Ini bermakna tiada perbezaan lengah purata bagi kenderaan yang datang dari salah satu dari jalan-jalan tuju dengan jalan tuju yang lain. Ini juga bermakna menyeimbangkan lengah di antara jalan-jalan tuju.

FUNGSI OBJEKTIF

Lengah yang seimbang adalah menjadi objektif pengoptimuman yang dicadangkan. Dua komponen lengah, iaitu lengah ketibaan seragam (d_1) dan lengah limpahan (d_2) boleh dianggarkan. Lengah limpahan ini adalah akibat kenderaan yang tiba tidak sekata. Kedua-duanya dianggarkan seperti berikut (Papacostas & Prevedouros 1993):

$$d_1 = 0.38C \frac{(1-g/C)^2}{1-(g/c)x}, \quad (4)$$

$$d_2 = 173x^2 \left[x - 1 + \sqrt{(x-1)^2 + 16x/c} \right], \quad (5)$$

dengan C = masa kitar, c = muatan, g = masa hijau, x = darjah ketepuan = $(q / (\lambda s))$, dan $\lambda = g / C$. Jumlah lengah,

$$TD = PF(d_1 + d_2), \quad (6)$$

dengan PF sebagai faktor progresif di mana nilainya lebih daripada 1.0 jika sebahagian besar kenderaan tiba semasa merah dan kurang dari 1.0 jika kenderaan tiba semasa hijau.

Persamaan (4), (5) dan (6) telah digunakan untuk mengira lengah bagi jalan-jalan tuju dengan anggapan ketibaan kenderaan secara rawak memberikan nilai PF sebagai 1.0. Bagi meminimumkan perbezaan lengah di jalan-jalan tuju, fungsi objektif berikut boleh diminimumkan:

$$\text{Fungsi-Objektif} = \sum_{i=1}^n |TD_i - TD_{av}|, \quad (7)$$

dengan TD_i adalah lengah purata bagi fasa i dan TD_{av} adalah purata bagi semua fasa manakala n adalah jumlah fasa.

Apabila masa lengah bagi setiap fasa menjadi sama, masa lengah purata akan menjadi sama dengan masa lengah bagi setiap fasa. Pada masa ini fungsi objektif akan menjadi kosong. Oleh itu pengoptimuman lampu isyarat dalam kajian ini ialah mencari masa-masa hijau bagi setiap fasa yang akan menyebabkan lengah purata bagi setiap kenderaan sama antara satu sama lain.

OPERATOR GENETIK

PENJANAAN POPULASI

Populasi yang sesuai biasanya di antara 20 ke 30 kromosom tetapi kadang-kadang populasi di antara 50 hingga 100 kromosom lebih baik (Abito 1998). Populasi 25, 50, 60, 70 dan 80 kromosom telah dicuba dan didapati populasi 60 kromosom paling cepat mencapai optimum, iaitu kurang dari 300 generasi dengan masa kurang dari satu saat. Oleh itu dalam uji kaji ini satu populasi kromosom disediakan yang mengandungi 60 kromosom. Setiap kromosom memuatkan peratus pecahan masa-masa hijau.

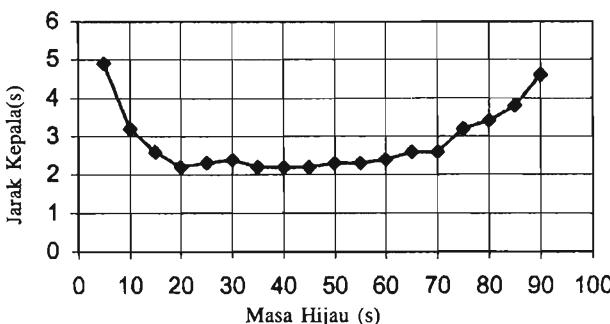
Kromosom telah direkabentuk supaya memuatkan masa-masa hijau. Masa-masa hijau ini ditentukan secara rawak dengan masa minimum 5 saat dan maksimum 70 saat. Oleh kerana dalam kajian ini lampu isyarat yang

Kromosom 1	32	45	15	21
------------	----	----	----	----

RAJAH 2. Contoh satu kromosom

digunakan empat fasa, maka masa hijau yang dijanakan untuk setiap kromosom juga untuk empat fasa. Rajah 2 menunjukkan rekabentuk kromosom yang digunakan.

Nilai 5 saat itu ditetapkan supaya tiada masa hijau yang menjadi sifar manakala 70 saat itu ditetapkan supaya jarak kepala antara kenderaan tidak terlalu besar sehingga banyak masa yang tersia-sia. Rajah 3 menunjukkan



RAJAH 3. Purata jarak kepala terhasil berbanding dengan masa hijau

jarak kepala menjadi besar apabila masa hijau diberikan melebih 70 saat. Had maksimum 70 saat akan menyebabkan masa hijau yang tidak terlalu panjang yang boleh menyebabkan jarak kepala yang panjang diberikan.

PENGUJIAN KEKUATAN

Kekuatan setiap kromosom dalam populasi kromosom tersebut diuji dengan mengira fungsi objektif yang menggunakan masa-masa hijau yang terkandung dalam kromosom yang diuji. Kromosom yang terbaik, iaitu yang memberikan nilai fungsi objektif yang minimum akan dimasukkan ke dalam generasi yang berikutnya.

POPULASI GENERASI BARU

Satu populasi baru telah diciptakan dengan langkah-langkah berikut:
Pemilihan Sepasang kromosom telah dipilih secara rawak untuk dijadikan ibu-bapa mengikut kekuatannya.

Persilangan Pasangan kromosom tersebut telah disilangkan untuk melahirkan keturunan. Kromosom yang terbaik dalam kajian ini dijelmakan semula ke dalam generasi keturunan manakala yang lain disilangkan. Kromosom yang terbaik ini dikatakan sebagai kromosom elit. Titik persilangan hanya satu sahaja tetapi ditentukan secara rawak. Contoh persilangan adalah ditunjukkan dalam Rajah 4.

Mutasi Dengan pilihan secara rawak, satu kromosom keturunan, iaitu lebih kurang 1.6% dari populasi keturunan, dilakukan mutasi dengan menukar gantikan angka yang terkandung di dalamnya. Kromosom elit yang telah dijelmakan dari generasi sebelumnya tidak boleh dilakukan mutasi ke atasnya. Contoh mutasi kromosom adalah ditunjukkan dalam Rajah 5. Dalam kajian ini penentuan angka yang ditukar ganti dilakukan secara rawak.

Penyongsangan Dengan secara rawak enam kromosom keturunan, iaitu 10% dari populasi, dilakukan salingan seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 6. Juzuk-juzuk kromosom yang dilakukan salingan juga ditentukan secara rawak. Seperti juga mutasi, kromosom elit tidak dilakukan salingan.

Penempatan Kromosom-kromosom generasi keturunan yang ditempatkan dalam populasi yang baru.

Masa kitar yang biasa bagi lampu isyarat dengan masa yang ditetapkan ialah di antara 30 hingga 120 saat manakala lampu isyarat tergerak kenderaan boleh dinaikkan sehingga 240 saat (McShane et al., 1998). Akan tetapi pemberian masa hijau yang terlalu panjang akan menyebabkan jarak kepala yang panjang seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 3. Oleh itu masa kitar dihadkan 180 saat sahaja supaya masa yang tersia-sia akibat jarak kepala yang panjang dapat dielakkan dan dalam masa yang sama memberikan kapasiti yang lebih besar berbanding dengan masa kitar 120 saat (McShane et al. 1998).

PENUKARAN

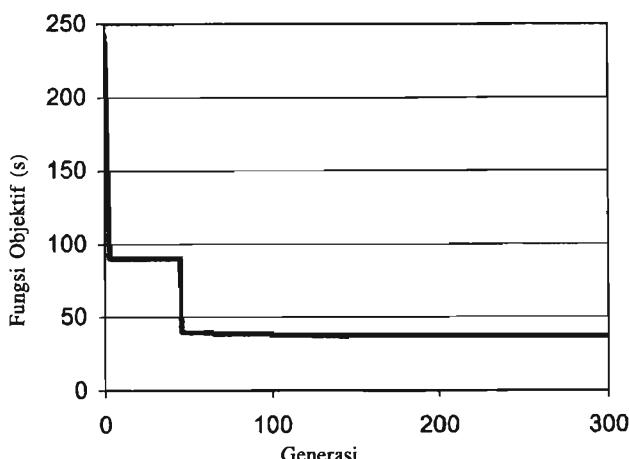
Populasi kromosom yang lama ditukarkan dengan yang baru. Kemudian proses yang diterangkan di atas diulang-ulang.

UJIAN

Ujian dilakukan setiap kali generasi terbentuk sama ada syarat akhir dipenuhi atau tidak. Jika syarat akhir dipenuhi, berhenti dan kromosom terakhir diambil sebagai penyelesaian. Dalam kajian ini syarat akhir ialah apabila jumlah perbezaan masa purata lengah antara fasa tidak melebih 10 saat atau selepas 500 generasi telah berlalu.

Komputer yang digunakan untuk menjalankan Algoritma Genetik adalah juga komputer yang melakukan pemprosesan imej. Masa yang diperlukan untuk melakukan pengiraan sebanyak 500 generasi hanya pecahan satu saat sahaja dan tidak menjelaskan kerja pemprosesan imej. Ia didapati menguncup dengan cepat ke arah penyelesaian. Rajah 7 menunjukkan fungsi objektif telah dapat dikurangkan daripada 243 saat kepada 39 saat sahaja selepas 45 generasi. Ini bermakna jumlah perbezaan purata lengah bagi keempat-empat jalan tuju ialah 39 saat atau kurang dari 10 saat bagi setiap jalan tuju.

Proses penguncupan nilai objektif telah didapati tidak begitu ketara selepas 200 generasi dan tiada penguncupan berlaku selepas 500 generasi. Ini menyebabkan pengiraan dihentikan bila mencapai 500 generasi.



RAJAH 7. Pengurangan fungsi objektif dari generasi ke generasi

RINGKASAN PENGGUNAAN ALGORITMA GENETIK

Algoritma genetik yang digunakan adalah diberikan dalam Jadual 1.

JADUAL 1. Ringkasan algoritma genetik

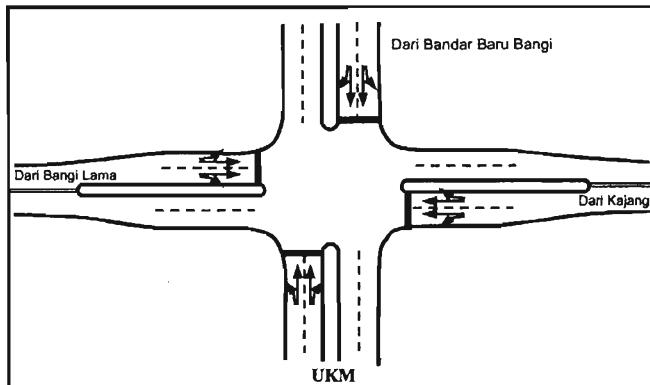
Perkara	Keterangan / Kaedah
Fungsi Objektif	Meminimumkan perbezaan lengah antara jalan tuju.
Saiz populasi kromosom	60 kromosom
Kandungan Kromosom	Masa-masa hijau bagi setiap fasa. Dalam kajian ini terdapat 4 fasa.
Jenis angka dalam kromosom	Integer masa hijau
Penentuan awal angka-angka dalam kromosom	Ditentukan secara rawak
Pemilihan kromosom untuk persilangan	Dipilih secara rawak
Penentuan titik persilangan	Ditentukan secara rawak
Pemilihan kromosom untuk mutasi	Dipilih secara rawak
Pemilihan titik mutasi	Dipilih secara rawak
Sekatan	$5s \leq \text{masa hijau} \leq 70s$ Masa kitar ≤ 180 s
Penamat akhir	Perbezaan masa lengah purata antara jalan tuju tidak melebihi 10 saat atau 500 generasi pengiraan; yang mana lebih dahulu tercapai

UJI KAJI PERBANDINGAN BERBAGAI KAE DAH

KAE DAH UJI KAJI

Kaedah-kaedah Webster, *Highway Capacity Manual*, tergerak kenderaan dan kaedah pengoptimuman dengan Algoritma Genetik telah dicuba dan dibandingkan di persimpangan di hadapan kampus UKM Bangi. Persimpangan ini terdiri dari empat jalan tuju seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 8.

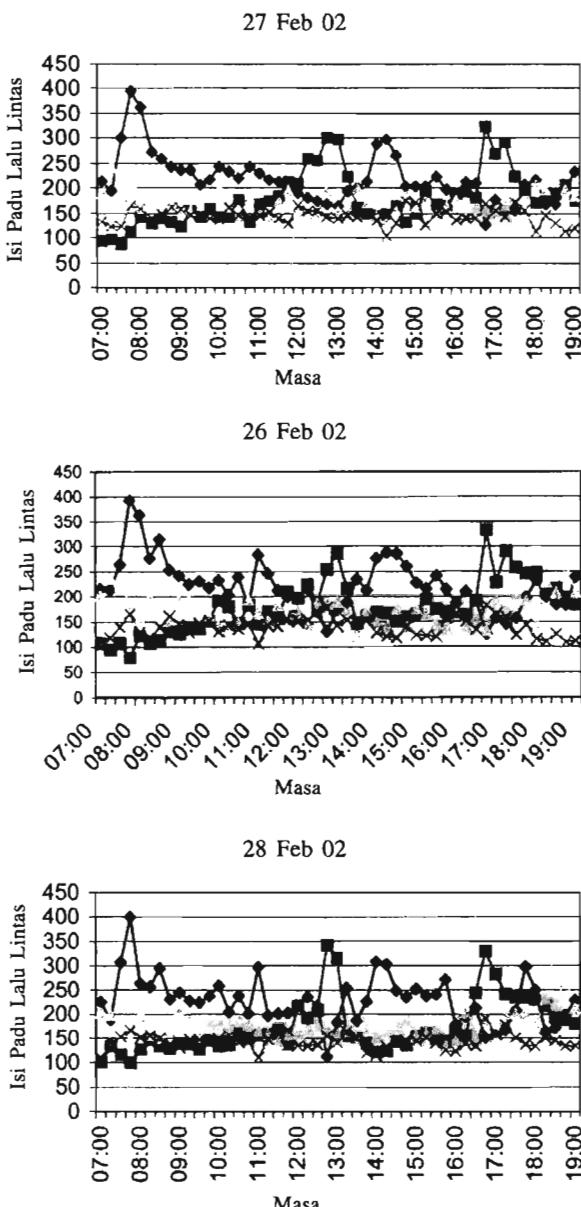
Perbandingan ini dilakukan dengan memastikan terlebih dahulu corak permintaan lalu lintas pada hari-hari kerja dalam seminggu adalah sama. Perkara ini perlu dibuat kerana tidak mungkin menggunakan kaedah yang



RAJAH 8. Susun atur persimpangan tapak ujian

berlainan dalam satu masa di tempat yang sama. Bagi mengurangkan kesan perubahan uji kaji perbandingan hanya dilakukan pada waktu pagi Selasa, Rabu dan Khamis yang tidak cuti. Hari Isnin tidak dimasukkan kerana dijangka cuti hujung minggu memberikan kesan kepada corak permintaan lalu lintas pada waktu pagi. Hari Jumaat juga tidak diambil kerana dijangka ia memberi corak yang agak berbeza kerana Sembahyang Jumaat. Hari Sabtu juga tidak diambil kerana tidak banyak aktiviti lazim pada hari tersebut.

Rajah 9 menunjukkan contoh aliran lalu lintas dari keempat-empat jalan tuju pada hari Selasa, Rabu dan Khamis. Ujian statistik t dan F telah



RAJAH 9. Aliran Lalu Lintas pada Hari Selasa, Rabu dan Khamis

dilakukan untuk melihat sama ada perbezaan ini ketara atau tidak ketara. Hasil ujian adalah diberikan dalam Jadual 2 yang menunjukkan perbezaan aliran lalu lintas tidak ketara.

JADUAL 2. Ujian F dan t ke atas aliran lalu lintas

	Hari Selasa dengan Rabu				F dan t (genting)
	dari BBB	dari UKM	dari Kajang	Dari Bangi	
Ujian F, F(0.25,49,49)	1.11355	0.94697	1.55483	1.42142	1.61537
Ujian T, F(0.25,49,49)	1.39724	0.03440	0.02710	1.80140	2.01063
	Hari Selasa dengan Khamis				F dan t (genting)
	dari BBB	dari UKM	dari Kajang	Dari Bangi	
Ujian F, F(0.25,49,49)	0.96878	0.99542	1.24583	1.04259	1.61537
Ujian T, F(0.25,49,49)	1.29875	0.06873	0.97582	1.75892	2.01063
	Hari Rabu dengan Khamis				F dan t (genting)
	dari BBB	dari UKM	dari Kajang	Dari Bangi	
Ujian F, F(0.25,49,49)	1.24589	1.54680	1.52589	1.49857	1.61537
Ujian T, F(0.25,49,49)	1.45987	0.59870	0.48579	1.56829	2.01063

Nota: BBB = Bandar Baru Bangi. Bangi = Bangi Lama

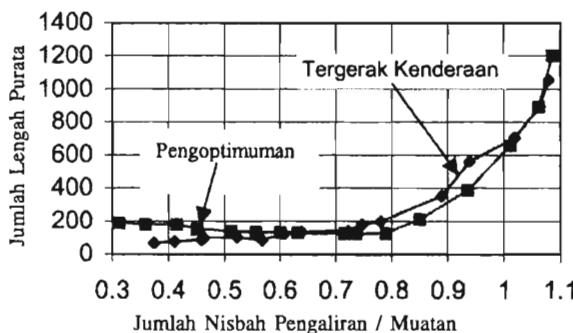
Pemerhatian di tapak telah dilakukan bermula dari aliran lalu lintas rendah hingga aliran lalu lintas tinggi dan seterusnya aliran tepu. Rajah 10 menunjukkan jumlah lengah purata meningkat sedikit demi sedikit dan mula meningkat dengan ketara selepas darjah ketepuan 0.7.

Kajian dilakukan bermula pada pukul 7:15 hingga 8:00 pagi. Pada pukul 7:15 biasanya aliran lalu lintas adalah rendah dan akan meningkat sedikit demi sedikit dan akan mencapai aliran tepu antara pukul pukul 7:50 hingga pukul 8:00 pagi. Pada waktu ini persimpangan menjadi sangat sesak akibat permintaan melebihi muatan dan lazimnya ia dikawal secara insani. Kawalan secara insani dibandingkan dengan kawalan lampu isyarat dengan pengagihan masa hijau mengikut panjang baris-gilir.

Masa kuning ditetapkan selama 3 saat manakala masa semua merah telah ditetapkan selama 1 saat bagi setiap jalan tuju.

PERALATAN

Peralatan yang digunakan adalah ditunjukkan dalam Rajah 11. Empat buah kamera CCTV dan teknik pemprosesan imej telah digunakan sebagai sensor (Rahmat et al. 2001) manakala komputer berdasarkan Windows98 digunakan untuk memproses imej dan mengoptimumkan lampu isyarat. Video blaster



RAJAH 10. Perubahan jumlah lengah purata terhadap nisbah aliran/muatan

pula digunakan sebagai penangkap imej. Video blaster digunakan kerana kualiti imej digital yang dihasilkan lebih baik berbanding dengan penangkap imej standard dan ia boleh didapati di pasaran dengan mudah. Multiplexer pula digunakan untuk menggabungkan imej-imej dari empat buah kamera. Rajah 12 menunjukkan contoh satu kerangka imej video yang telah didigitkan. Ia terdiri dari 286 piksel tinggi dan 350×3 piksel RGB lebar dan kadar pendigitan ialah 10 kerangka se saat.

Penggunaan kamera sebagai sensor telah menyebabkan pengesanan kenderaan dapat dilakukan di tempat-tempat yang sesuai hanya dengan menekan butang tetikus. Kemudahan seperti ini sangat berguna bagi kaedah tergerak kenderaan kerana kedudukan pengesan kenderaan mempengaruhi lengah kenderaan.

Pengawal yang digunakan ialah yang direka bentuk khas supaya boleh bertindak sebagai hamba kepada komputer dan boleh bertindak sebagai pengawal lampu jika komputer tidak dapat berfungsi.

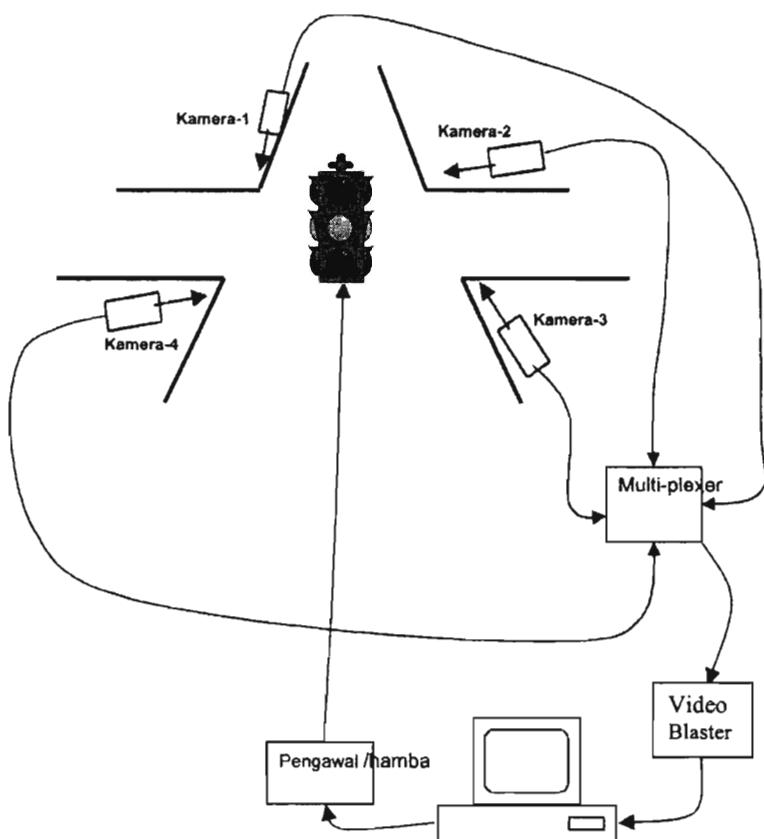
PEMFASAAN LAMPU ISYARAT

Aturan fasa lampu adalah ditunjukkan dalam Rajah 13. Aturan ini dipilih atas sebab-sebab berikut:

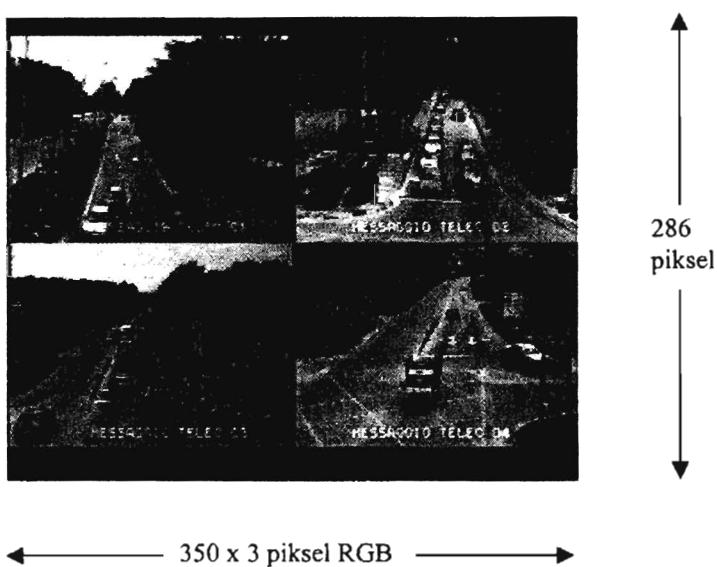
- Jumlah kenderaan yang memblok ke kanan dengan yang terus lebih kurang sama banyaknya. Ini menyebabkan memisahkan antara kedua-dua aliran tidak akan memberikan kesan yang bermakna.
- Ketidaan lorong khas untuk memblok ke kanan juga menyebabkan pengasingan aliran ke kanan dan terus akan menyebabkan aliran terus terhalang oleh yang hendak memblok ke kanan.
- Kenderaan-kenderaan yang bergerak laju dan “mencuri” jalan ketika lampu merah boleh menyebabkan perlanggaran di tengah-tengah persimpangan. Oleh kerana perlanggaran dari samping lebih bahaya daripada langgar belakang, aturan fasa mengikut jam telah tidak dilaksanakan

KAWALAN KETIKA JALAN RAYA SESAK

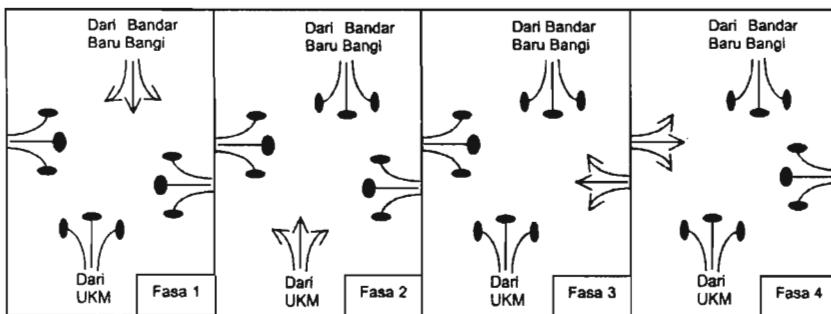
Kesesakan lalu lintas yang dimaksudkan di sini ialah apabila permintaan lalu lintas melebihi muatan. Dalam hal persimpangan jalan, kesesakan berlaku apabila darjah ketepuan, x , ($q/(\lambda s)$), lebih dari 1.0. Dalam keadaan ini baris-gilir akan bertambah panjang.



RAJAH 11. Peralatan lampu isyarat yang digunakan



RAJAH 12. Imej yang telah didigitkan dari empat buah kamera



RAJAH 13. Fasa-fasa lampu isyarat dalam kajian

Kaedah pengoptimuman memperlihatkan prestasi yang lebih baik daripada kaedah-kaedah lain tetapi apabila baris-gilir semakin panjang, ia pun kelihatan tidak dapat berfungsi dengan baik. Sebab utamanya ialah apabila baris-gilir semakin panjang, piksel-piksel yang dijadikan sebagai sensor telah berada di dalam baris-gilir. Ini menyebabkan bilangan kenderaan yang dikira bukanlah bilangan kenderaan yang tiba di jalan tuju tetapi bilangan yang keluar mele过si garisan berhenti yang jumlahnya lebih kecil daripada jumlah yang tiba.

Apabila ini berlaku sering kali persimpangan dikawal secara manual. Dalam kes persimpangan yang dikaji, pengawal manusia ini akan memberikan laluan mengikut kepanjangan baris-gilir dengan masa kitar di antara 3 hingga ke 5 minit. Jalan tuju yang mengandungi baris-gilir yang panjang akan diberikan masa hijau yang lebih. Walau bagaimana pun panjang baris-gilir hanya ditentukan semata-mata dengan pandangan mata dan masa kitar serta pecahan masa hijau ditentukan melalui anggaran semata-mata.

Dalam kajian ini apabila baris-gilir semakin panjang mencapai kepanjangan 10 kereta berhenti atau apabila darjah ketepuan, ($q/(\lambda s)$), mencapai 1.0 atau lebih, lampu isyarat akan mengagih-agihkan masa hijau mengikut nisbah panjang baris-gilir dengan masa kitar ditetapkan kepada 180 saat. Pembahagian masa hijau yang dicadangkan dalam projek ini adalah seperti berikut:

$$g_i = \frac{Q_i W_i}{\sum_i Q_i W_i} \left[C - \sum_i (K_i + SW_i) \right]. \quad (8)$$

Dengan g_i = masa hijau bagi jalan tuju i, Q_i = panjang baris-gilir dalam sebutan unit kereta penumpang bagi jalan tuju i, W_i = Pewajar bagi jalan tuju i, K_i = Masa kuning bagi jalan tuju i (ditetapkan 3 saat), SM_i = Masa semua merah bagi jalan tuju i (ditetapkan 2 saat) dan C = Masa kitar yang telah ditetapkan selama 180 saat (tiada pewajaran dikenakan). Ini bermakna nilai $W_i = 1.0$

HASIL UJI KAJI

Perbandingan dilakukan di antara kaedah-kaedah yang lazim dan dimasukkan juga kaedah masa tetap yang memang telah tersedia ada di persimpangan

berkenaan. Masa tetap ini memang tidak efisien terutama ketika aliran rendah kerana ia memberikan masa hijau yang lebih dari yang diperlukan. Bila aliran tinggi ia juga tidak efisien kerana masa hijau yang diberikan tidak berkadar dengan permintaan lalu lintas. Walau bagaimana pun ia dimasukkan juga dalam perbandingan sebagai perbandingan dengan keadaan yang sedia ada. Perbandingan lengah bagi kesemua kaedah yang digunakan adalah diberikan dalam Rajah 14 manakala perbandingan panjang baris-gilir dalam Rajah 15.

Semasa aliran lalu lintas rendah, kaedah tergerak kenderaan telah menunjukkan jumlah panjang baris gilir dan lengah yang paling rendah berbanding dengan kaedah-kaedah lain. Apabila jumlah nisbah aliran / muatan lebuh kurang 0.7, lengah dan baris gilir mula menaik dengan ketara. Kaedah pengoptimuman pula menunjukkan prestasi yang paling baik. Ia memberikan baris gilir yang paling pendek dan jumlah lengah yang paling rendah. Ini berlaku sehingga aliran lalu lintas mencapai tahap tepsu.

Kaedah kawalan yang asal, iaitu kawalan masa tetap telah menunjukkan prestasi buruk. Pada waktu aliran rendah ia memberikan masa hijau yang berlebihan sehingga mengakibatkan lengah yang besar. Ketika aliran tinggi ia memberikan masa hijau yang tidak sesuai dengan permintaan lalu lintas

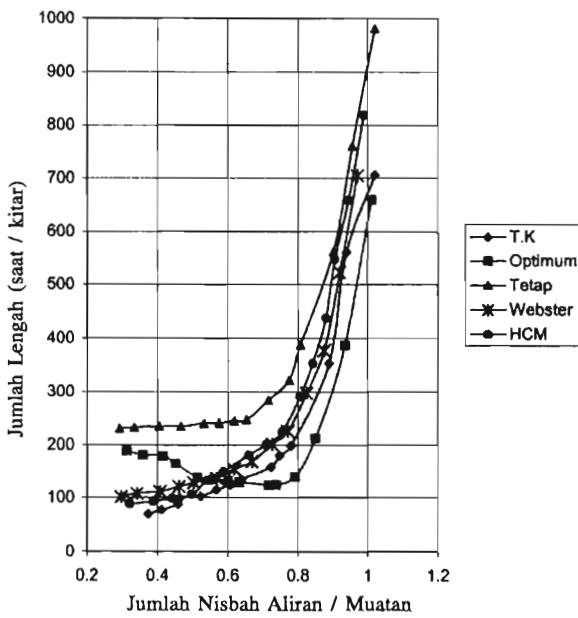
Kaedah Webster, kaedah pengoptimuman dan kaedah *Highway Capacity Manual* menghadapi masalah tidak dapat bertindak balas dengan segera terhadap perubahan lalu lintas. Ini menyebabkan lengah dan panjang baris gilir agak tinggi berbanding dengan kaedah tergerak kenderaan.

Apabila kesesakan berlaku dan baris gilir bertambah panjang, persimpangan yang dikaji selalunya dikawal secara insani. Dalam kajian ini kawalan insani telah dibandingkan dengan kawalan oleh komputer yang mengagihkan masa hijau mengikut panjang baris gilir. Perbandingan juga dilakukan dengan kaedah yang menunjukkan prestasi yang baik semasa aliran sebelum tepsu, iaitu kaedah pengoptimuman. Kaedah tergerak kenderaan yang menunjukkan prestasi yang paling baik semasa aliran rendah juga dimasukkan dalam perbandingan. Perbandingan jumlah lengah ditunjukkan dalam Rajah 16 manakala perbandingan panjang baris gilir ditunjukkan dalam Rajah 17. Kedua-dua rajah ini menunjukkan kaedah kawalan mengikut baris gilir adalah yang paling efisien berbanding dengan kaedah-kaedah lain semasa aliran tepsu.

ULASAN

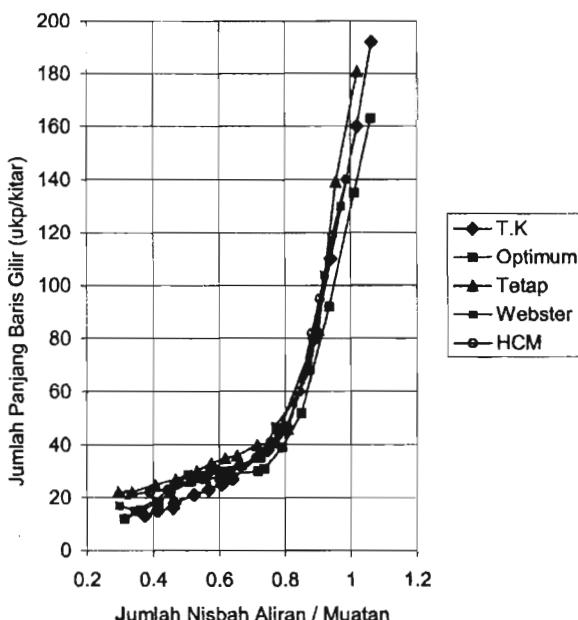
Apabila aliran lalu lintas kecil dengan darjah ketepuan, x , kurang daripada 0.7, kaedah Webster, *Highway Capacity Manual* dan kaedah pengoptimuman nampaknya kurang berkesan dalam menentukan masa kitar dan pecahan masa hijau yang sesuai. Ketidak berkesanannya ini berlaku jika terdapat sejumlah kenderaan datang secara tiba-tiba memasuki jalan tuju. Perkara ini berlaku kerana kaedah-kaedah ini menggunakan aliran lalu lintas pada kitaran sebelumnya untuk menentukan masa kitar dan pecahan masa hijau pada kitaran yang akan datang. Oleh itu jika terdapat satu platun kenderaan datang tiba-tiba, kenderaan-kenderaan ini tidak termasuk dalam pengiraan masa kitar dan pecahan masa hijau semasa.

Kaedah tergerak kenderaan pula boleh bertindak balas dengan pertambahan lalu lintas yang berlaku secara tiba-tiba dengan memberikan



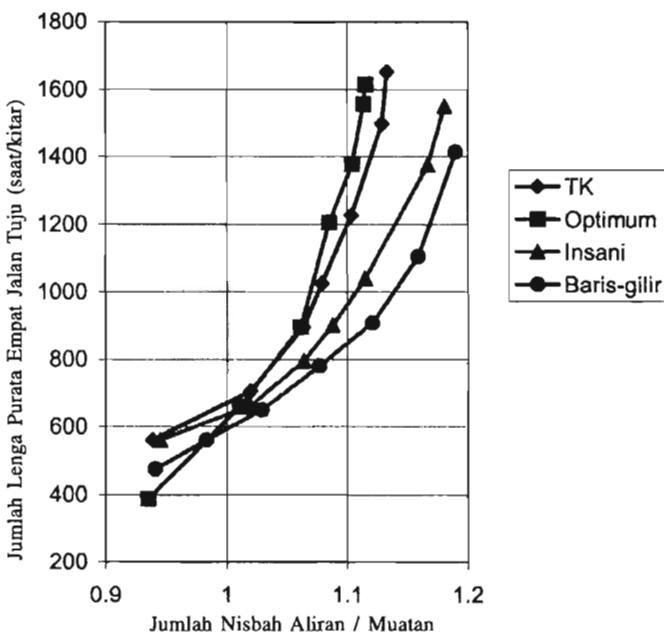
Nota: Tetap = Kawalan masa tetap (kawalan asal), TK = Tergerak kenderaan, Optimum = Kawalan Optimum, HCM = Kawalan mengikut *Highway Capacity Manual*.

RAJAH 14. Perbandingan Jumlah Lengah Purata Kaedah-kaedah Kawalan Sebelum Aliran Tepu



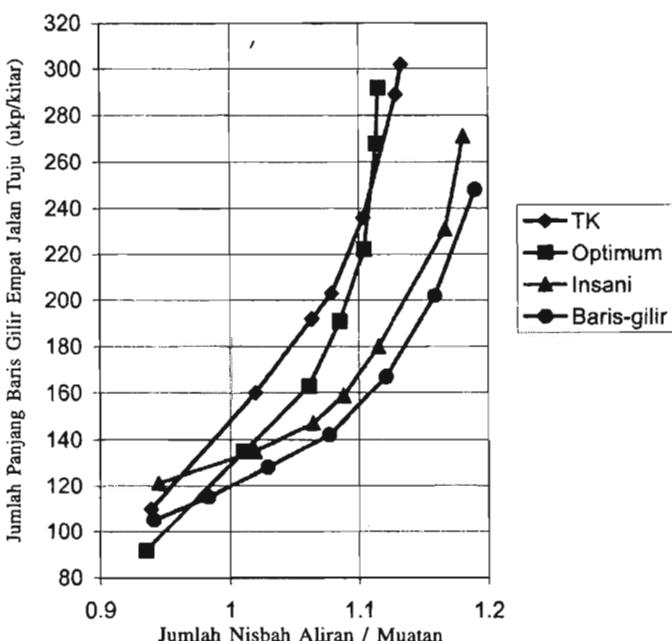
Nota: Tetap = Kawalan masa tetap (kawalan asal), TK = Tergerak kenderaan, Optimum = Kawalan Optimum, HCM = Kawalan mengikut *Highway Capacity Manual*.

RAJAH 15. Perbandingan jumlah panjang baris-gilir kaedah-kaedah kawalan sebelum aliran tepu



Nota: TK = Tergerak kenderaan, Optimum = Kawalan Optimum, Insani = Kawalan secara insani, Baris-gilir = Kawalan mengagihkan masa hijau mengikut panjang baris-gilir.

RAJAH 16. Perbandingan Jumlah Lengah ketika Aliran Tepu



Nota: TK = Tergerak kenderaan, Optimum = Kawalan Optimum, Insani = Kawalan secara insani, Baris-gilir = Kawalan mengagihkan masa hijau mengikut panjang baris gilir.

RAJAH 17. Perbandingan Panjang Baris-gilir ketika Aliran Tepu

masa hijau tambahan. Oleh itu selama masa hijau maksimum masih belum tercapai, kaedah ini akan bertindak balas dengan baik.

Jika aliran lalu lintas tinggi, iaitu bila darjah ketepuan, x , melebihi 0.7 kaedah tergerak kenderaan mencapai masa hijau maksimum yang menyebabkan ia bertindak seperti lampu isyarat masa tetap. Kedah Webster dan kaedah *Highway Capacity Manual* juga tidak menunjukkan prestasi yang baik. Dalam keadaan seperti ini kaedah pengoptimuman nampaknya berfungsi dengan baik. Lengah yang diseimbangkan antara jalan-jalan tuju telah dapat mengurangkan panjang baris-gilir dan lengah.

Walau bagaimana pun jika aliran lalu lintas sangat tinggi sehingga melebihi muatan persimpangan semua kaedah yang disebutkan di atas tidak dapat berfungsi dengan baik. Pemerhatian di persimpangan-persimpangan menunjukkan ada jalan tuju yang mengalami lengah yang lama dengan baris-gilir yang panjang manakala jalan tuju yang lain lengah sangat sedikit dan baris-gilir yang pendek. Keadaan yang tidak seimbang ini menyebabkan persimpangan-persimpangan berlampaui syarat dilihat gagal berfungsi dengan baik dan perlu dikawal secara insani.

Pemberian masa hijau oleh pengawal manusia biasanya berdasarkan panjang baris-gilir. Jalan tuju yang mengandungi baris-gilir yang paling panjang akan diberikan masa hijau yang paling lama. Apabila ia memberikan laluan kepada satu-satu jalan tuju, ia akan terus memberikan laluan sehinggalah jarak kepala antara satu-satu kenderaan dengan kenderaan di belakangnya agak jauh. Kadang-kadang jarak kepala berlaku sehingga 7 saat yang menyebabkan masa tersia-sia. Jarak kepala yang biasanya ialah di antara 2 hingga 2.5 saat.

KESIMPULAN

Uji kaji yang telah dijalankan seperti di atas menunjukkan ketika aliran lalu lintas rendah kaedah tergerak kenderaan adalah yang terbaik. Ia memberikan masa lengah yang paling kecil dan jumlah baris-gilir yang terpendek. Tambahan pula ia boleh bertindak balas dengan cepat apabila satu platun kenderaan datang secara tiba-tiba manakala kaedah yang lain hanya akan bertindak balas pada kitaran yang berikutnya.

Bila keadaan mulai sesak, kaedah tergerak kenderaan tidak dapat berfungsi dengan baik tetapi kaedah pengoptimuman dapat memberikan pecahan masa hijau yang optimum sehingga dapat mengurangkan masa lengah dan memperpendekkan baris-gilir.

Apabila aliran kenderaan sangat tinggi sehingga melebihi muatan persimpangan, kaedah pengoptimuman juga tidak dapat berfungsi dengan baik. Sebab utamanya ialah sensor pengira lalu lintas tidak dapat mengira kenderaan yang datang di penghujung belakang baris-gilir yang sangat panjang. Tetapi dalam keadaan ini menentukan pembahagian masa hijau mengikut panjang baris-gilir boleh mengawal lalu lintas dengan memuaskan.

Di samping itu, adanya sensor lalu lintas yang menggunakan kamera membolehkan beberapa parameter lalu lintas didapati. Pengesan video yang telah dibangunkan dalam kajian ini boleh mengesan kehadiran kenderaan pada tempat-tempat yang dikehendaki, mendapatkan aliran lalu lintas di tempat-tempat yang strategik dan mengukur panjang baris gilir. Kedudukan sensor pengira aliran lalu lintas, mengesan kehadiran kenderaan dan mengukur

panjang baris-gilir boleh dipindah-pindahkan hanya dengan menggunakan tetikus. Ini membolehkan lampu isyarat berbilang kaedah direka bentuk.

Dalam kajian ini kaedah kawalan lalu lintas telah dibahagikan kepada tiga keadaan mengikut aliran lalu lintas seperti yang ditunjukkan dalam Jadual 3. Oleh itu kaedah kawalan berbilang kaedah adalah yang terbaik untuk digunakan kerana ini boleh mengawal lalu lintas dengan baik dalam berbagai-bagai keadaan.

JADUAL 3. Kawalan berbilang kaedah

Kehadaan Lalu Lintas	Parameter Penentu	Kaedah Kawalan	Keterangan Tambahan
Aliran rendah	$x < 0.70$	Tergerak kenderaan	Pengesan kehadiran kenderaan berhampiran garisan berhenti.
Aliran tinggi	$0.7 \leq x \leq 1.0$	Kaedah pengoptimuman menggunakan Algoritma Genetik	Masa kitar dihadkan kepada 180 saat
Aliran sangat tinggi	$x > 1.0$	Kaedah mengagihkan masa hijau mengikut panjang baris-gilir	Masa kitar ditetapkan 180 saat.

Nota: $x = \text{darjah ketepuan} = q/(\lambda s)$ dengan q adalah aliran lalu lintas, λ adalah nisbah masa hijau dengan masa kitar dan s , adalah aliran tepu.

PENGHARGAAN

Penghargaan diberikan kepada Kementerian Sains, Teknologi dan Alam Sekitar yang telah membayai kajian ini, juruteknik-juruteknik Jabatan Kejuruteraan Awam dan Struktur, UKM yang banyak menolong ketika kajian dijalankan dan Jabatan Kerja Raya yang telah memberi keizinan dan memberikan pertolongan untuk melakukan ujian ini di atas jalan awam.

RUJUKAN

- Abitk, M. 1998. Genetic algorithms (atas talian). <http://cs.felk.cvut.cz/~xobitko/ga/> (15 Januari 2000)
- Cassidy M., Chuang, Y. H. dan Vitale, J. 1996. Reexamining vehicle-actuation strategies at isolated signalised intersections. *Journal of Transportation Engineering*, 122(3): 235 – 240.
- Gartner N. H., Tarnoff, P. J. & Andrews, C. M. 1991. Evaluation of optimized policies for adaptive control strategy, *Transportation Research Record No. 1324*. Transportation Research Board, National Research Council.
- Gartner, N. H., Stamatiadis, C. dan Tarnoff, P. J. 1995. Development of advanced traffic signal control strategies for intelligent transport system: Multilevel design. *Transportation Research Record No. 1494*. Transportation Research Board, National Research Council.
- Highway Capacity Manual. 1994. *Transportation Research Board*. Washington: National Research Council.
- Japs, B. 1999. The MOVA system of traffic control at signalised junctions – experience in Edinburg. *Traffic Engineering & Control* 40(6):314-316

- Kell, J. H. dan Fullerton, I. J. 1991. *Manual of traffic signal*, Institution of Transportation Engineers. Edisi ke-2, Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice-Hall.
- Kromborg, P. dan Davidsson, F. 1993. MOVA and LHOVRA traffic signal control for isolated intersections. *Traffic Engineering & Control* 34 (4):195 – 200.
- Papacostas, C.S. and Prevedouros, P.D. 1993. *Transportation Engineering and Planning*, New Jersey: Prentice Hall.
- Rahmat, R A., Jumari, K., Hassan, A. dan Basri, H. 2001. Video detection system for traffic light sensor. *Traffic Engineering & Control*, 42(11): 386 - 390.
- Spence, J. dan Vincent, R.A. 1999. Benefit of MOVA control at a partially signalled roundabout. *Traffic Engineering & Control* 40(7/8):384 - 385
- Webster, F. V. dan Cobbe, B. M. 1966. Traffic Signals, London: Her Majesty's Stationary Office.

Riza Atiq bin O.K. Rahmat
Hassan bin Basri
Jabatan Kejuruteraan Awam dan Struktur
Fakulti Kejuruteraan
Universiti Kebangsaan Malaysia

Kasmiran bin Jumari
Pusat Komputer
Universiti Kebangsaan Malaysia

Azmi bin Hassan
Jabatan Kejuruteraan Mekanikal dan Proses
Fakulti Kejuruteraan
Universiti Kebangsaan Malaysia