

## Analisis Persimpangan Berlampa Isyarat Menggunakan Highway Capacity Manual 1985

Ismail Abdul Rahman

### ABSTRAK

Kertas ini membincangkan prestasi sistem kawalan persimpangan berlampa isyarat di bandar Kajang. Analisis yang dibuat menggunakan kaedah yang digariskan dalam Highway Capacity Manual 1985 (HCM85) menunjukkan bahawa terdapat hubungan linear di antara peratusan kendaraan berat dalam aliran lalulintas dengan kapasiti jalan tuju dalam berbagai keadaan kawalan. Selain dari itu, kajian ini juga menghasilkan hubungan di antara lengah yang dialami oleh seseorang pemandu dengan nisbah isipadu terhadap kapasiti ( $v/c$ ).

### ABSTRACT

This paper describes the control system's performance of a signalised intersection in Kajang town. Analysis which was carried out according to the method outlined in the Highway Capacity Manual 1985 (HCM85) shows that a linear relationship between percentage of heavy vehicles in traffic flow to the approach's capacity exist in various control conditions. Besides that, this study also gives a relationship between delay experienced by any individual drivers to volume divided by capacity ratio ( $v/c$ ).

### PENGENALAN

Kapasiti dan taraf perkhidmatan merupakan di antara faktor-faktor utama yang dititikberatkan dalam menganalisis operasi sesebuah persimpangan. Sungguh pun kedua-dua faktor di atas seolah-olah saling berkaitan namun kedua-duanya tidak mempunyai korelasi yang terkuat. Kapasiti sesebuah persimpangan dalam sebutan biasa menggambarkan keupayaan sesebuah persimpangan itu menanggung beban; di mana dalam kes ini beban ialah jumlah kendaraan yang menggunakan persimpangan. Taraf perkhidmatan pula menggambarkan kualiti perkhidmatan yang bakal diperolehi oleh pemandu-pemandu kendaraan yang menggunakan sesebuah persimpangan.

Analisis kapasiti persimpangan melibatkan pengiraan nisbah isipadu iaitu bilangan kendaraan ( $v$ ) terhadap kapasiti ( $c$ ) untuk pergerakan-pergerakan berasingan dan nisbah rencam  $v/c$  untuk pergerakan-pergerakan yang kritikal bagi sesuatu jalan tuju atau kumpulan lorong untuk semua jalan tuju persimpangan itu. Nisbah  $v/c$  adalah kadar aliran sebenar atau yang dijangkakan untuk sesuatu jalan tuju atau kumpulan lorong tertentu dalam masa puncak bagi analisis setiap 15 minit dibahagikan dengan kapasiti jalan tuju atau kumpulan lorong berkenaan.

Taraf perkhidmatan ditentukan berdasarkan lengah berhenti purata untuk sebuah kenderaan yang melalui sesebuah persimpangan. Umumnya nisbah v/c mempengaruhi lengah yang dialami oleh pemandu kenderaan. Walau bagaimanapun, faktor-faktor lain juga memberikan kesan kepada lengah seperti kualiti pergerakan progresif kenderaan, tempoh masa hijau dan tempoh masa kitaran.

Jurutera-jurutera yang merekabentuk sistem kawalan sesebuah persimpangan berlampau isyarat hendaklah memastikan bahawa setiap persimpangan beroperasi dengan baik. Ini termasuklah mempunyai kapasiti yang mencukupi berbanding dengan beban yang diterima dan beroperasi di dalam taraf perkhidmatan yang telah ditetapkan. Sistem kawalan persimpangan yang baik akan memberi faedah secara langsung kepada pengguna secara memendekkan masa perjalanan, mengurangkan kos perjalanan dan penyenggaraan kenderaan dan juga mengurangkan kadar kematangan.

Setelah menyedari kepentingan kepada sistem kawalan yang baik ini, maka satu kajian telah dilakukan di sebuah persimpangan berlampau isyarat yang tersibuk di bandar Kajang, Selangor (Rajah 1). Persimpangan ini dianggap yang terpenting kerana ia menjadi laluan utama kepada kenderaan-kenderaan yang datang dari arah Kuala Lumpur dan Lebuhraya Tol Utara-Selatan menuju ke pusat bandar Kajang, ke Bandar Baru Bangi atau ke Seremban melalui Laluan Persekutuan 1 (Federal Route 1) dan sebaliknya. Kajian ini melibatkan pengumpulan data isipadu lalulintas yang menggunakan persimpangan ini dari pukul 7 pagi hingga 6 petang selama dua minggu iaitu pada minggu kedua dan ketiga bulan Jun 1990.



RAJAH 1. Peta lokasi kawasan kajian

## KAPASITI PERSIMPANGAN BERLAMPU ISYARAT

Setiap jalan tuju bagi sesebuah persimpangan mempunyai kapasitinya masing-masing. Dari segi teknikalnya, kapasiti sesuatu jalan tuju ialah kadar aliran maksimum yang boleh melepassi persimpangan itu dalam beberapa keadaan seperti kedudukan aliran lalulintas, rekabentuk geometri laluan dan sistem kawalan yang terdapat di sekelilingnya. Kapasiti adalah diukur dalam unit bilangan kenderaan seunit masa.

Dari takrifan kapasiti di atas, jelas menunjukkan bahawa terdapat tiga faktor utama yang mempengaruhi kapasiti sesuatu jalan tuju iaitu kedudukan aliran, rekabentuk geometri laluan dan sistem kawalan. Kedudukan aliran lalulintas yang dimaksudkan di sini ialah seperti bilangan kenderaan yang tiba pada sesuatu ketika dari setiap jalan tuju; taburan lalulintas mengikut arah pergerakan seperti pergerakan terus, membobelok ke kiri atau membobelok ke kanan; taburan lalulintas mengikut jenis seperti bas, lori dan kereta, kedudukan dan kesibukan perhentian bas atau lain-lain kemudahan pengangkutan awam yang terletak berhampiran persimpangan; dan kewujudan laluan melintas bagi pejalan kaki.

Perkara-perkara yang termasuk dalam rekabentuk geometri laluan pula ialah seperti ciri-ciri rekabentuk persimpangan yang merangkumi bilangan dan lebar lorong, kesendengan jalan dan penetapan dari segi penggunaan lorong-lorong yang disediakan. Manakala sistem kawalan merangkumi faktor-faktor seperti sistem pemfasaan lampu isyarat (iaitu samada 2-fasa, 3-fasa atau 4-fasa), sistem pemasaan dan kaedah kawalan sama ada menggunakan alat pengesan kenderaan atau sebaliknya.

Kapasiti persimpangan berlampaui syarat berdasarkan kepada konsep aliran tepu dan kadar aliran tepu ( $s$ ). Kadar aliran tepu ialah kadar aliran maksimum yang boleh melepassi persimpangan dengan menganggap ia mempunyai seratus peratus masa untuk menikmati hak laluan. Kadar aliran tepu dinyatakan dalam unit kenderaan sejam masa hijau berkesan.

Nisbah kadar aliran untuk sesuatu jalan tuju atau kumpulan lorong ialah nisbah kadar aliran sebenar jalan tuju atau kumpulan lorong tersebut ( $v$ ) kepada kadar aliran tepu ( $s$ ). Amnya, untuk jalan tuju atau kumpulan lorong  $i$ , nisbah kadar aliran diberikan oleh

$$(v/s)_i \quad (1)$$

dan kapasiti untuk jalan tuju atau kumpulan lorong  $i$  tersebut pula diberikan oleh

$$c_i = s_i \times (g/C)_i \quad (2)$$

di mana:

$c_i$  : kapasiti jalan tuju atau kumpulan lorong  $i$ , (kenderaan/jam)

$s_i$  : kadar aliran tepu jalan tuju atau kumpulan lorong  $i$ , (kenderaan/jam masa hijau)

$g$  : masa hijau berkesan untuk jalan tuju atau kumpulan lorong tertentu

$C$  : masa kitaran

$(g/C)_i$  : nisbah masa hijau berkesan kepada masa kitaran jalan tuju atau kumpulan lorong  $i$

Nisbah v/c ini diberikan simbol X. Dari hubungan di atas dapat diperhatikan bahawa terdapat hubungan yang kuat di antara kapasiti dengan kadar aliran tepu dan keadaan sistem kawalan isyarat. Oleh itu

$$\begin{aligned} X_i &= (v/c)_i = v_i/[s_i \times (g/C)_i] \\ &= (v_i \times C)/(s_i \times g_i) \\ &= (v/s)_i/(g/C)_i \end{aligned} \quad (3)$$

di mana:

$X_i$  : nisbah v/c jalan tuju atau kumpulan lorong i.

$v_i$  : kadar aliran sebenar jalan tuju atau kumpulan lorong i (kenderaan/jam)

$g_i$  : masa hijau berkesan jalan tuju atau kumpulan lorong i (saat)

C : masa kitaran (saat)

Nilai X biasanya berada dalam lingkungan 0 hingga 1. Jika nilai X menghampiri 0, ini menunjukkan bahawa kadar aliran sebenar adalah rendah berbanding kapasiti dan bila nilai X menghampiri 1, ini menunjukkan bahawa nilai kadar aliran sebenar menghampiri kapasiti.

Dalam menganalisis operasi sesebuah persimpangan, apa yang dipentingkan bukannya kapasiti keseluruhan persimpangan kerana jarang sekali terdapat keadaan di mana semua jalan tuju menjadi tepu pada masa yang sama. Apa yang perlu dititikberatkan ialah kapasiti setiap satu jalan tuju kerana ia menggambarkan keupayaan sesuatu jalan tuju menerima beban yang diterima dalam bentuk bilangan kenderaan yang tiba dan melepaskannya dengan secara cekap dan teratur.

Konsep kapasiti yang lain ialah nilai nisbah v/c *kritikal*. Dalam konsep ini hanya jalan tuju atau kumpulan lorong untuk sesuatu fasa pergerakan yang sama yang mempunyai kadar aliran tertinggi (*kritikal*) sahaja diambil kira. Contohnya, dalam sistem kawalan dua fasa hanya jalan tuju yang mempunyai kadar aliran kenderaan terbanyak diambil kira dari jalan-jalan tuju yang mempunyai hak laluan yang serentak dalam fasa yang ditentukan bersama-sama. Nisbah v/c untuk keadaan ini dinamakan v/c *kritikal*. Amnya setiap fasa mempunyai jalan tuju atau kumpulan lorong *kritikal* masing-masing yang akan menentukan masa hijau yang diperlukan untuk fasa tersebut.

Nisbah v/c *kritikal* persimpangan untuk sesuatu jalan tuju atau kumpulan lorong diberi oleh

$$X_c = \sum(v/s)_{ci} \times [C/(C - L)] \quad (4)$$

di mana:

$X_c$  : nisbah v/c *kritikal* persimpangan

$\sum(v/s)_{ci}$  : jumlah nisbah kadar aliran semua jalan tuju atau kumpulan lorong i yang *kritikal*

L : jumlah masa hilang yang terjadi di awal dan akhir pergerakan kenderaan dalam sesuatu fasa.

C : masa kitaran.

Persamaan di atas boleh digunakan untuk menganggarkan prestasi operasi persimpangan secara keseluruhan.

## TARAF PERKHIDMATAN PERSIMPANGAN BERLAMPU ISYARAT

Taraf perkhidmatan untuk sesebuah persimpangan berlampaui syarat dikelaskan kepada beberapa kategori berdasarkan nilai lengah yang dialami oleh pemandu kenderaan. Dari segi definisinya, lengah ( $d$ ) adalah ukuran ketidakselesaan dan kekecewaan pemandu, penggunaan bahan api dan kehilangan masa yang dialami dalam sesuatu perjalanan (Transportation Research Board 1985). Lengah, dalam unit saat/kenderaan, dapat dikira menerusi persamaan di bawah.

$$d = 0.38C \frac{(1 - g/C)^2}{[1 - (g/C)(X)]} + 173X^2 \{(X - 1) \\ + \sqrt{[(X - 1)^2 + (16X/c)]}\} \quad (5)$$

Terdapat dua komponen utama dalam persamaan (5) di atas. Komponen pertama mewakili lengah yang dialami sekiranya ketibaan kenderaan adalah seragam. Komponen kedua pula mewakili lengah yang dialami sekiranya ketibaan kenderaan di persimpangan adalah secara rawak. Selain dari itu, komponen kedua juga mengambilkira faktor lengah yang terjadi akibat kegagalan fasa di mana dalam kes ini kenderaan yang tiba terpaksa menunggu hingga ke fasa berikutnya untuk melepas persimpangan.

Kriteria taraf perkhidmatan dinyatakan dalam bentuk lengah berhenti purata yang dialami oleh sebuah kenderaan untuk sela masa analisis 15 minit. Jadual 1 di bawah menyenaraikan kategori-kategori taraf perkhidmatan mengikut nilai lengah berhenti purata yang dialami oleh sesebuah kenderaan.

**JADUAL 1. Kategori taraf perkhidmatan**

Kategori Taraf Perkhidmatan	Lengah Berhenti (saat/kenderaan)
A	kurang dari 5.0
B	5.1 hingga 15.0
C	15.1 hingga 25.0
D	25.1 hingga 40.0
E	40.1 hingga 60.0
F	lebih dari 60.0

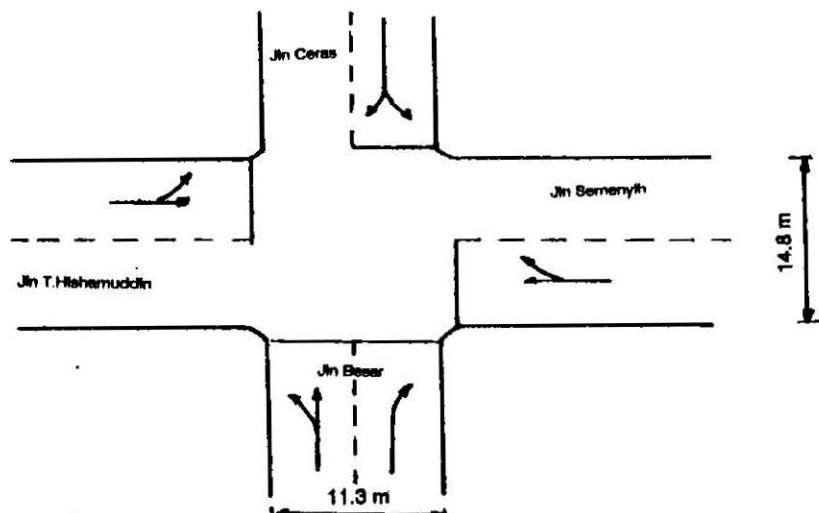
Hubungan di antara kapasiti dan taraf perkhidmatan adalah agak kompleks dan tidak boleh diwakili oleh persamaan yang mudah. Adalah sesuatu yang mungkin terjadi di mana nilai  $v/c$  adalah lebih rendah dari 1 tetapi lengah yang di alami adalah tinggi. Perkara ini boleh terjadi disebabkan oleh faktor-faktor berikut:

- tempoh masa kitaran terlalu panjang.
- tidak ada penyelarasan dengan lampu isyarat yang berdekatan sehingga menyebabkan kebanyakan kenderaan tiba dalam masa merah.
- tempoh masa merah terlalu panjang.

Begitu juga sebaliknya di mana nilai v/c melebihi 1, tetapi lengah yang dialami adalah kecil. Ini bergantung kepada kaedah sistem kawalan persimpangan secara individu. Dengan lain perkataan, hubungan di antara kapasiti dan taraf perkhidmatan adalah berbeza bagi persimpangan yang lain oleh kerana kaedah sistem kawalan yang tidak serupa.

### KAJIAN KES DI BANDAR KAJANG, SELANGOR

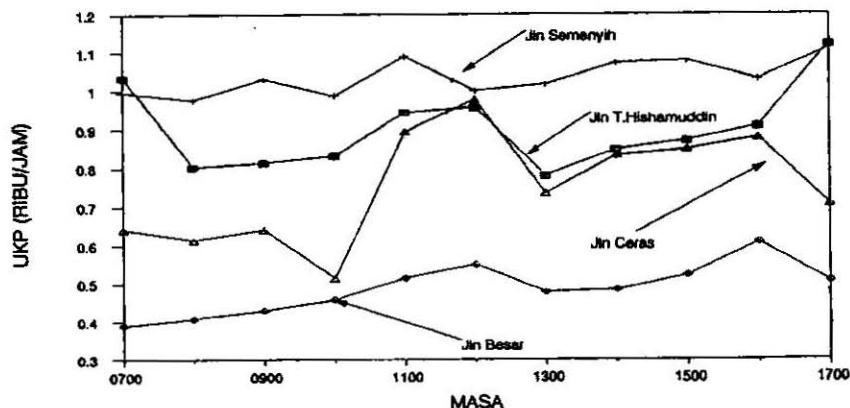
Satu kajian telah dilakukan terhadap prestasi operasi sistem kawalan lampu isyarat persimpangan Jalan Ceras – Jalan Besar – Jalan Tuanku Hishamuddin – Jalan Semenyih di bandar Kajang (Rajah 2). Kajian ini melibatkan pengumpulan data lalulintas selama dua minggu iaitu pada minggu kedua dan ketiga bulan Jun 1990 selama 11 jam sehari bermula dari pukul 7 pagi hingga 6 petang. Data yang diperolehi dianalisis dengan menggunakan kaedah yang digariskan dalam HCM85. Hubungan di antara beberapa parameter penting dihasilkan dari analisis ini. Analisis juga menghasilkan hubungan di antara kapasiti sesuatu jalan tuju dengan peratusan kenderaan berat yang terdapat dalam aliran lalulintas bagi jalan tuju di persimpangan tersebut. Keputusan analisis ini dibincangkan dalam perenggan-perenggan berikut.



RAJAH 2. Rekabentuk geometri persimpangan

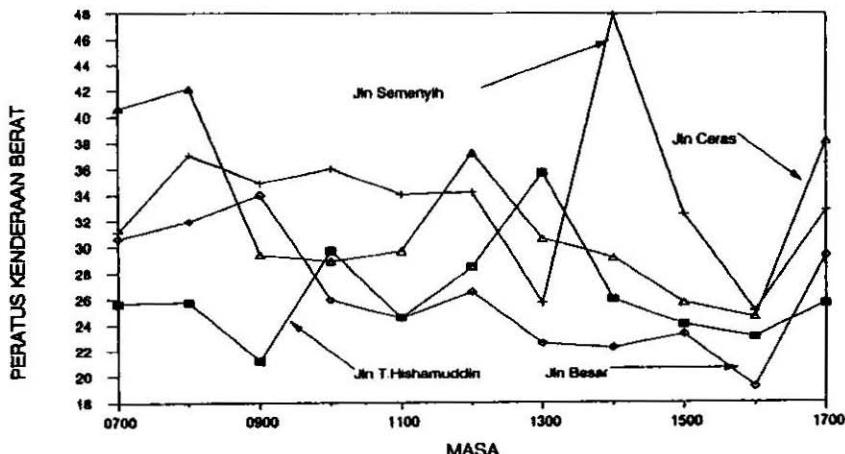
### CIRI-CIRI KEMBARA

Bilangan kenderaan dalam unit kenderaan penumpang sejam (ukp/jam) yang direkodkan dari kajian ini (Rajah 3) adalah seragam sepanjang hari untuk Jalan Besar (JB) dan Jalan Semenyih (JS). Kedua-dua jalan tuju ini mencatatkan bilangan kenderaan di antara 400 hingga 800 unit sejam. Bagi Jalan Ceras (JC) dan Jalan Tuanku Hishamuddin (JTH) pula bilangan kenderaan yang dicatatkan agak tidak seragam sepanjang hari. Kedua-dua jalan tuju ini mencatatkan bilangan kenderaan yang maksimum di antara pukul 7 hingga 8 pagi dan 12 hingga 1 tengahari.



RAJAH 3. Unit kenderaan penumpang mengikut jalan tuju

Dari segi peratusan kenderaan berat (Rajah 4), semua jalan tuju merekodkan peratusan yang seragam sepanjang hari iaitu dalam lingkungan 15 hingga 30 peratus kecuali JS dan JTH. Di kedua-dua jalan tuju ini peratusan kenderaan berat berubah mengikut masa dalam sehari.

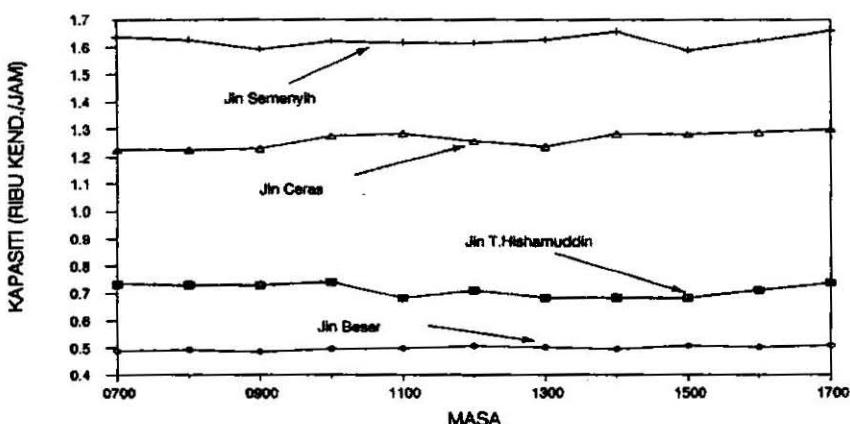


RAJAH 4. Peratusan kenderaan berat mengikut jalan tuju

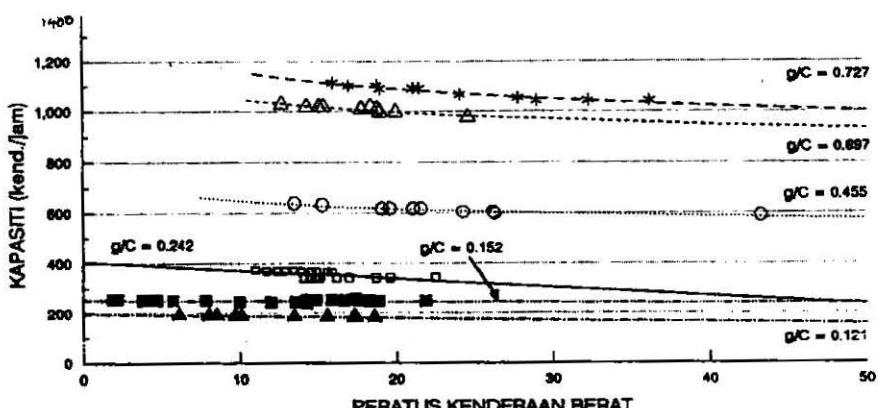
### KAPASITI JALAN TUJU

Kapasiti semua jalan-jalan tuju adalah seragam sepanjang hari walaupun terdapat pengurangan yang agak ketara pada masa-masa tertentu (Rajah 5). Ini adalah disebabkan oleh pertambahan bilangan kenderaan berat dalam waktu ini, disamping faktor-faktor lain. Contohnya peratusan kenderaan berat yang agak tinggi di JS dari pukul 3 hingga 4 petang (31%) telah menyebabkan kapasiti jalan tuju berkenaan turun kepada 1588 kenderaan sejam dari kapasiti asalnya 1800 kenderaan sejam. Ini adalah kerana pertambahan bilangan kenderaan berat mengurangkan kelancaran pergerakan kenderaan-kenderaan lain.

Selain dari itu, kapasiti juga dipengaruhi oleh sistem kawalan yang berupa peruntukan hak laluan atau masa hijau. Amnya semakin lama tempoh masa hijau yang diperuntukkan, semakin besar kapasiti yang dinikmati sekiranya faktor-faktor lain adalah tetap. Rajah 6 menunjukkan hubungan yang didapati di antara kapasiti dengan peratusan kenderaan berat dalam aliran lalulintas untuk tahap-tahap kawalan (nisbah g/C) yang



RAJAH 5. Perbandingan kapasiti antara jalan tuju

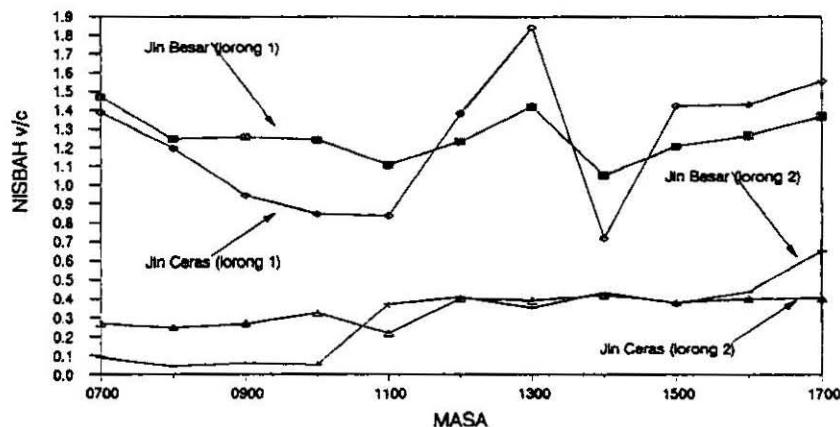


RAJAH 6. Hubungan antara kapasiti dan peratusan kenderaan berat

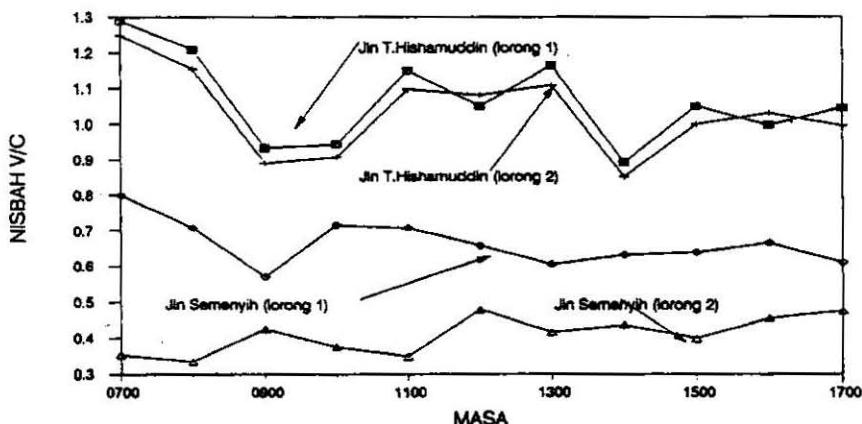
berbeza. Garislurus-garislurus yang didapati dalam Rajah 6 itu menunjukkan bahawa peningkatan peratusan kenderaan berat akan merendahkan kapasiti jalan tuju. Persilangan di antara garislurus-garislurus yang mewakili tahap kawalan yang berbeza dengan paksi menegak memberikan kapasiti teori jalan tuju berkenaan tanpa kewujudan kenderaan berat.

#### NISBAH v/c DAN LENGAH

Rajah 7 dan 8 menunjukkan perbandingan nilai nisbah v/c mengikut kedudukan lorong untuk semua jalan tuju. Pada keseluruhannya nisbah v/c untuk kebanyakan jalan tuju sentiasa berada di bawah nilai 1 kecuali untuk beberapa masa tertentu. Di antara jalan tuju yang mempunyai nisbah v/c kerap melebihi 1 ialah lorong 1 JB, lorong 1 JC dan lorong 1 dan 2 JTH di mana lorong 1 ialah lorong yang terdekat dengan penengah jalan (Rajah 7 dan 8). Analisis menunjukkan bahawa keadaan ini sebenarnya berpunca dari peruntukan hak laluan yang terlalu sedikit iaitu masing-masing 15 dan 12 peratus sahaja dari keseluruhan masa hijau yang



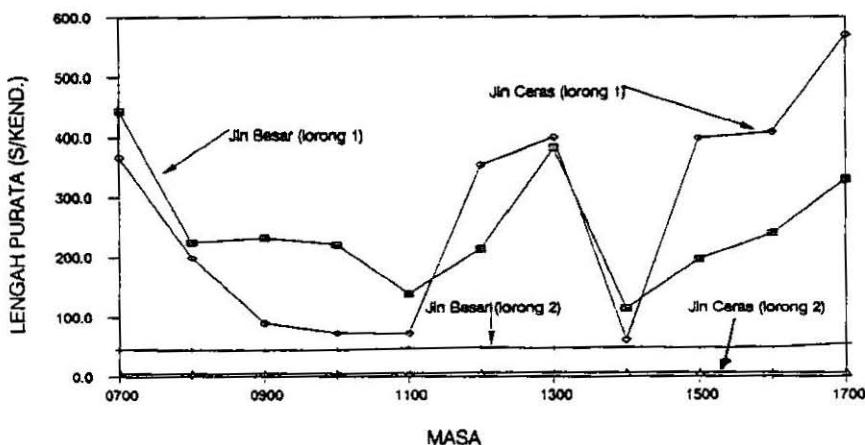
RAJAH 7. Perbandingan nisbah v/c antara lorong



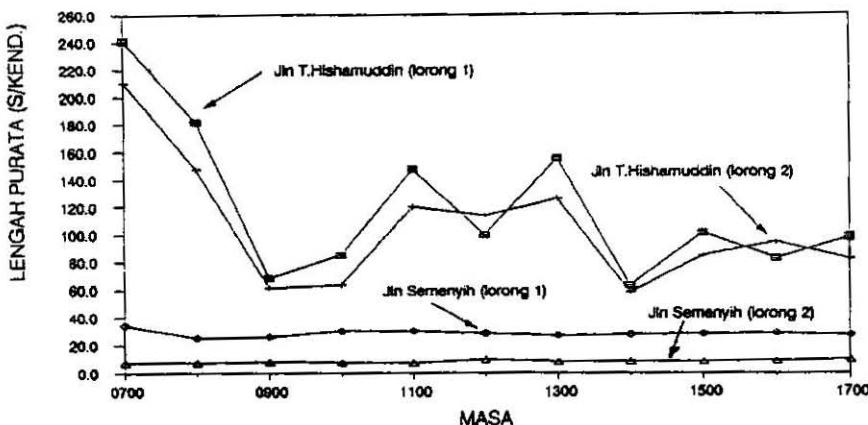
RAJAH 8. Perbandingan nisbah v/c antara lorong

diperuntukkan. Ini menyebabkan kebanyakan dari kenderaan yang menggunakan lorong-lorong tadi terpaksa menunggu hingga ke fasa berikutnya sebelum dapat melepas persimpangan ini. Keadaan ini menyebabkan kadar aliran kenderaan di lorong-lorong ini lebih rendah berbanding dengan lorong-lorong lain. Nisbah v/c bagi lorong 2 JB, JC dan JS pula sentiasa berada di bawah paras 0.5 sepanjang hari. Seperti yang dijelaskan tadi, keadaan ini berkait rapat dengan peruntukan masa hijau untuk lorong-lorong ini.

Lengah yang dialami adalah berkait rapat dengan nilai v/c. Rajah 9 dan 10 menunjukkan lengah yang dialami oleh sebuah kenderaan di semua jalan tuju. Pada keseluruhannya lengah yang dialami oleh sebuah kenderaan adalah tidak melebihi 50 saat kecuali kenderaan yang menggunakan lorong 1 JC, lorong 1 JB (Rajah 9) dan lorong 1 dan 2 JTH (Rajah 10). Kenderaan-kenderaan yang menggunakan lorong-lorong di atas terpaksa mengalami lengah yang agak tinggi bergantung kepada masa perjalanan dibuat. Contohnya pemandu kenderaan yang menggunakan lorong 1 JC



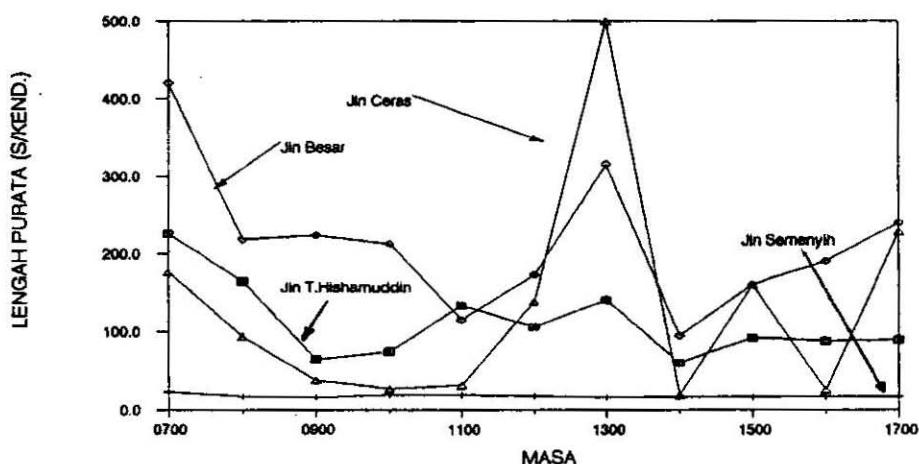
RAJAH 9. Perbandingan lengah antara lorong



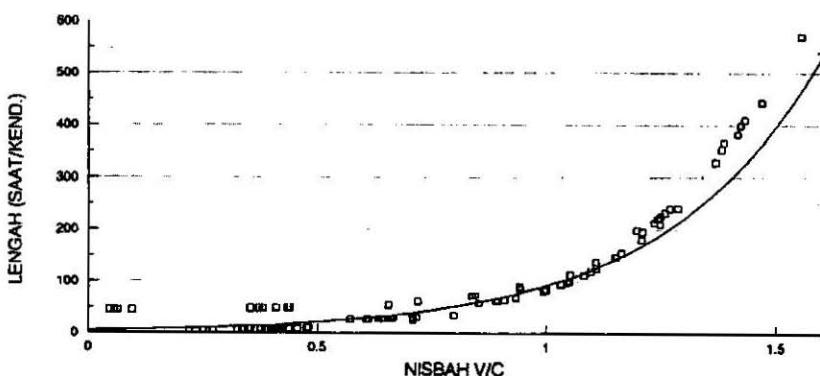
RAJAH 10. Perbandingan lengah antara lorong

terpaksa mengalami lengah setinggi 370 saat dari pukul 7 hingga 8 pagi. Walau bagaimana pun sekiranya pemandu berkenaan menggunakan lorong yang sama pada pukul 9 hingga 10 pagi, lengah yang dialami adalah di bawah 100 saat.

Rajah 11 menunjukkan perbandingan lengah yang dialami oleh sebuah kenderaan yang menggunakan persimpangan ini. Diperhatikan di sini bahawa lengah yang dialami oleh sesebuah kenderaan yang menggunakan JS adalah di bawah 50 saat untuk sepanjang hari. Ini adalah disebabkan oleh peruntukan masa hijau yang agak besar bagi JS dan seterusnya membolehkan kebanyakan kenderaan yang tiba di jalan tuju ini berjaya melepas persimpangan tanpa perlu menunggu hingga ke fasa berikutnya. Bagi jalan-jalan tuju yang lain, lengah berubah-ubah mengikut masa dalam sehari.



RAJAH 11. Perbandingan lengah antara jalan tuju



RAJAH 12. Hubungan antara lengah dan nisbah v/c

Rajah 12 pula menunjukkan hubungan di antara lengah yang dialami dengan nilai nisbah v/c untuk persimpangan yang dikaji. Amnya peningkatan nisbah v/c meningkatkan lengah kerana jalan tuju terpaksa menanggung beban yang lebih besar sedangkan keupayaannya tidak bertambah. Dari lengkung yang diperolehi itu peningkatan lengah adalah beberapa kali ganda dengan peningkatan nilai v/c.

Pemerhatian yang teliti terhadap garis lengkung dalam Rajah 12 menunjukkan bahawa peningkatan lengah adalah mendadak pada tahap nisbah v/c melebihi 1. Ini adalah kerana bilangan kenderaan yang melebihi kapasiti menyebabkan terjadinya kegagalan fasa di mana kebanyakan kenderaan terpaksa menunggu lebih dari satu fasa untuk melepassi persimpangan.

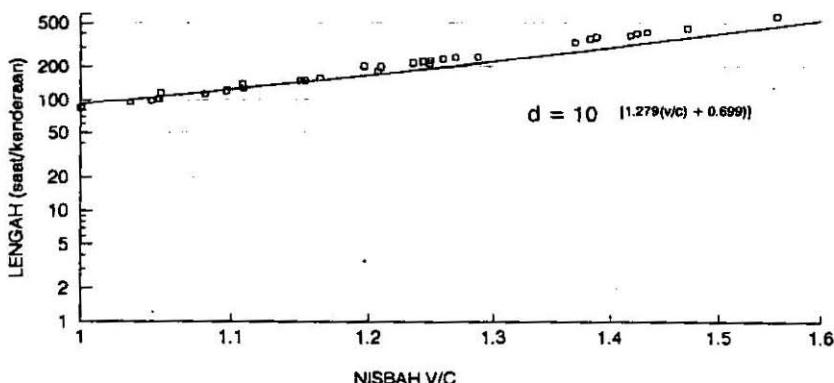
Rajah 13 menunjukkan hubungan linear di antara lengah dengan nisbah v/c di mana paksi menegak diplotkan mengikut skil logarizam. Dari garislurus yang didapati dalam Rajah 13, persamaannya adalah

$$\begin{aligned}\log d &= \frac{1.978 - 0.699}{1 - 0} x(v/c) + 0.699 \\ &= 1.279x(v/c) + 0.699 \\ d &= 10^{(1.279(v/c) + 0.699)}\end{aligned}\quad (6)$$

di mana:

d : lengah (saat/kenderaan)

v/c : nisbah isipadu terhadap kapasiti jalan tuju



RAJAH 13. Hubungan liner antara lengah dan nisbah v/c

Persamaan (6) di atas menunjukkan bahawa lengah yang dialami oleh sesebuah kenderaan yang menggunakan sesuatu persimpangan yang dikaji adalah bergantung kepada nisbah isipadu terhadap kapasiti jalan tuju. Walau bagaimana pun, untuk persimpangan-persimpangan yang mempunyai sistem kawalan yang berbeza, hubungan yang didapati di atas tidak boleh digunakan.

Perlu ditekankan di sini bahawa persamaan (6) di atas tidak dapat digunakan untuk persimpangan-persimpangan lain kerana sistem kawalan yang berbeza. Untuk membolehkan persamaan di atas digunakan ke atas persimpangan-persimpangan lain beberapa pengubahaian haruslah dilakukan dengan mengambilira ciri-ciri kawalan.

Dalam kajian ini, analisis statistik yang dibuat memberikan nilai pekali penentuan ( $r^2$ ) 0.88. Ini menunjukkan bahawa 88 peratus dari perubahan dalam lengah adalah disebabkan oleh pengaruh nisbah v/c, manakala 12 peratus lagi tidak dapat dijelaskan di sini. Sistem pemfasaan dan pemasaan, peruntukan kegunaan lorong, peratusan kenderaan berat dan perubahan dalam kadar ketibaan kenderaan di persimpangan juga adalah merupakan faktor-faktor yang tidak dapat dijelaskan untuk dikaitkan dalam kajian ini.

## KESIMPULAN

Hasil kajian ini mendapati bahawa persimpangan yang dikaji beroperasi dalam keadaan yang baik terutamanya di luar waktu-waktu puncak. Walau bagaimana pun, dalam waktu-waktu puncak tertentu, prestasinya menurun di mana lengah yang di alami di setengah-setengah jalan tuju adalah tinggi dan kadar ketibaan kenderaan melebihi keupayaannya. Disamping itu, peningkatan peratusan kenderaan berat menurunkan kapasiti jalan tuju dalam suatu hubungan linear. Peningkatan nilai v/c pula menyebabkan lengah turut meningkat dengan kadar pergandaan dan ianya boleh juga diwakili oleh suatu persamaan linear. Walau bagaimana pun persamaan yang didapati dari kajian ini tidak dapat mewakili hubungan lengah dan v/c untuk persimpangan-persimpangan lain yang mempunyai sistem kawalan yang berbeza.

Untuk membolehkan suatu hubungan umum di antara lengah dan nisbah v/c dibentuk, kajian seperti ini haruslah dilakukan di persimpangan-persimpangan lain yang dikawal oleh lampu isyarat. Persimpangan-persimpangan yang dipilih haruslah dapat mewakili keseluruhan persimpangan yang terdapat di negara ini. Keputusan yang diperolehi ini dibandingkan dan seterusnya suatu hubungan umum antara lengah dan nisbah v/c yang boleh mewakili keseluruhan persimpangan di negara ini dapat dikeluarkan.

## PENGHARGAAN

Penulis ingin mengucapkan setinggi-tinggi terima kasih kepada juruteknik dan kakitangan makmal Jabatan Kejuruteraan Awam dan Struktur di atas kerja-kerja pengumpulan data lalulintas sepanjang tempoh kajian ini berjalan.

## RUJUKAN

- Transportation Research Board. 1985. *Highway Capacity Manual* (Special Report 209). Washington D.C.: National Research Council.  
 Papacostas, C.S., 1987. *Fundamentals of Transportation Engineering*. Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice-Hall Inc.

- Ramanayya, T.V. 1988. Highway capacity under mixed traffic conditions. *Traffic Engineering and Control* 29: 284-287
- Todd, K. 1988. Effects of arterial platoon on capacity. *Traffic Engineering and Control* 29: 468-474.

Jabatan Kejuruteraan Awam dan Struktur  
Fakulti Kejuruteraan  
Universiti Kebangsaan Malaysia  
43600 Bangi  
Selangor D.E.