

**PENILAIAN KEBERKESANAN MALAYSIAN HIGHWAY CAPACITY
MANUAL DALAM REKABENTUK PERSIMPANGAN BERLAMPU ISYARAT
DI MALAYSIA**

Oleh

Toh Bin Tee

Disertasi ini dikemukakan kepada

UNIVERSITI SAINS MALAYSIA

Sebagai memenuhi sebahagian daripada syarat
keperluan untuk ijazah dengan kepujian

SARJANA MUDA KEJURUTERAAN (KEJURUTERAAN AWAM)

**PENILAIAN KEBERKESANAN MALAYSIAN HIGHWAY CAPACITY
MANUAL DALAM REKABENTUK PERSIMPANGAN BERLAMPU
ISYARAT DI MALAYSIA**

Abstrak

Rekabentuk persimpangan berlampu isyarat merupakan pengetahuan yang wajib dipelajari oleh semua jurutera awam terutamanya jurutera lebuhraya. Sebagai seorang jurutera awam, kita mestilah mengetahui konsep dan kaedah untuk merekabentuk persimpangan berlampu isyarat. Kaedah dan faktor geometri untuk rekabentuk biasanya boleh didapati dengan merujuk kepada manual rekabentuk. Oleh itu, pelbagai manual yang dihasilkan di Malaysia dan luar negara seperti Arahan Teknik (Jalan) 13/87 dan HCM 2000 telah digunakan. Oleh itu, untuk mendapat satu manual yang lebih relevan dan berkaitan dengan keadaan lalu lintas di Malaysia, MHCM telah dihasilkan. Kajian ini telah dijalankan untuk mengenalpasti keberkesanan MHCM berbanding dengan manual lain dalam rekabentuk persimpangan berlampu isyarat supaya ia boleh dijadikan sebagai panduan yang dapat diselaraskan dan digunapakai oleh jurutera awam di seluruh Malaysia. Antara manual yang digunakan, didapati bahawa MHCM dapat memperbaiki prestasi persimpangan berlampu isyarat menjadi lebih baik prestasinya jika dibandingkan dengan kaedah yang lain.

**EVALUATION OF THE EFFECTIVENESS OF
MALAYSIAN HIGHWAY CAPACITY MANUAL
IN DESIGNING SIGNALIZED INTERSECTION IN MALAYSIA**

Abstract

Civil Engineer should be competent in designing signalized intersection. It is essential for engineer to understand the concept and procedure of designing the signalized intersection by referring to the design manual. A new manual, which is more relevant to the traffic condition of Malaysia, Malaysian Highway Capacity Manual was completed. In this study, the determination of the effectiveness of the Malaysian Highway Capacity Manual is carried out by comparing the manual with the HCM 2000 and the Arahan Teknik (Jalan) 13/87. The results of the study have shown that the control delay estimated using the MHCM is significantly similar to the Malaysian Road condition as compared to the control delay estimated using other manuals.

PENGHARGAAN

Dengan mengambil kesempatan ini, saya ingin mengucapkan ribuan terima kasih serta merakamkan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada Penyelia Projek Tahun Akhir, Universiti Sains Malaysia, Prof. Madya Dr. Wan Hashim Bin Wan Ibrahim atas jasa baik beliau yang memberi nasihat, panduan dan tunjuk ajar kepada saya untuk menjayakan projek tahun akhir ini.

Tidak lupa juga penghargaan kepada Dr. Leong Lee Vien atas nasihat ke atas penggunaan manual Malaysian Highway Capacity. Selain itu, kepada siswazah Ijazah Tinggi iaitu Cik Nurikhwani Idayu Zainal Abidin dalam bimbingan untuk manual Highway Capacity Manual 2000 dan juruteknik Encik Rasidi Bin Razak dalam nasihat ke atas kaedah pencerapan data di lapangan serta Encik Hasrulnazim Bin Hassan di atas ajaran tentang alat TDC-8. Tidak ketinggalan, jutaan terima kasih kepada Penasihat Akademik, Prof. Madya Meor Othman Bin Hamzah yang memberi bimbingan dalam akademik selama empat tahun ini. Bagi rakan-rakan yang tersayang yang sama-sama menjalankan kajian ini, saya ucapkan terima kasih.

Tambahan pula, saya juga ingin merakamkan penghargaan kepada ibu bapa dan ahli keluarga yang memberi sokongan dari segi moral kepada saya untuk menjayakan projek ini. Penghargaan yang tidak ternilai telah menjadi sumber inspirasi, di atas segala pengorbanan, kasih sayang dan semangat yang dicurahkan bagi memastikan diri ini menjadi insan yang berguna.

KANDUNGAN

	Muka Surat
ABSTRAK	i
ABSTRACT	ii
PENGHARGAAN	iii
KANDUNGAN	iv
SENARAI JADUAL	viii
SENARAI RAJAH	x
SENARAI PLAT	xii
BAB 1 : PENGENALAN	
1.1 : Pengenalan	1
1.2 : Objektif Kajian	3
1.3 : Skop Kajian	4
1.4 : Organisasi Tesis	6
BAB 2 : SOROTAN LITERATUR	
2.1 : Pengenalan	7
2.2 : Pengenalan dan Latar Belakang Manual-Manual yang Dikaji	8
2.2.1 : Highway Capacity Manual 2000 (HCM 2000)	8
2.2.2 : Arahan Teknik (Jalan) 13/87	9
2.2.3 : Malaysian Highway Capacity Manual	9
2.3 : Aliran Tepu Terlaras	10
2.3.1 : Konsep Aliran Tepu	11
2.3.2 : Penentuan Kadar Aliran Tepu dengan HCM 2000	11

2.3.3	: Penentuan Kadar Aliran Tepu dengan Arahan Teknik (Jalan) 13/87	16
2.3.4	: Penentuan Kadar Aliran Tepu dengan MHCM	17
2.4	: Penentuan Kapasiti dan Darjah Ketepuan (v/c ratio)	19
2.4.1	: Penentuan Kapasiti dan Darjah Ketepuan dengan HCM 2000 dan MHCM	20
2.4.2	: Penentuan Kapasiti dengan Arahan Teknik (Jalan) 13/87	21
2.5	: Kelengahan Yang Berlaku di Persimpangan Berlampu Isyarat	22
2.5.1	: Teori Anggaran Kelengahan Kawalan HCM 2000 dan MHCM	23
2.5.2	: Teori Anggaran Kelengahan Arahan Teknik (Jalan) 13/87	26
2.6	: Traffic Data Collector TDC-8 dan PETRA 3.3.1	30
2.6.1	: Traffic Data Collector TDC-8	30
2.6.2	: PETRA 3.3.1	31
2.7	: Hubungan Antara Kelengahan Kawalan dan Kelengahan Berhenti	31
2.8	: Penutup	35
BAB 3 : METODOLOGI KAJIAN		
3.1	: Pengenalan	36
3.2	: Lokasi Kajian	38
3.2.1	: Pengenalan	38
3.2.2	: Kawasan Kajian	43

3.3	: Lawatan Tapak	44
3.4	: Peringkat Pencerapan Data	45
3.4.1	: Peralatan Kajian	46
3.4.2	: Tatacara Pencerapan Data Di Lapangan	47
3.5	: Peringkat Pemprosesan Data	49
3.6	: Peringkat Analisis Data	52
3.6.1	: Proses Analisis Data dengan MHCM, HCM	52

2000 Dan Arahan Teknik (Jalan) 13/87

BAB 4 : KEPUTUSAN DAN PERBINCANGAN

4.1	: Pengenalan	56
4.2	: Keputusan Kajian	58
4.2.1	: Keputusan Dari Peringkat Analisis Data	58
4.3	: Perbincangan Kajian	63
4.3.1	: Perbincangan Keputusan	63
4.3.1.1	: Persimpangan Simpang Tiga	63
4.3.1.2	: Persimpangan Simpang Empat	64
4.3.1.3	: Persimpangan Perkaka	65
4.3.2	: Kesesuaian Penggunaan Manual-Manual di Malaysia	66
4.3.2.1	: Malaysia Highway Capacity Manual	66
4.3.2.2	: Highway Capacity Manual 2000	67
4.3.2.3	: Arahan Teknik (Jalan) 13/87	68

BAB 5 : KESIMPULAN DAN CADANGAN

5.1	: Kesimpulan	69
5.2	: Masalah dan Cadangan	70

RUJUKAN	72
LAMPIRAN A : Borang Cerapan Data	73
LAMPIRAN B : Diskripsi Setiap Lorong Pada Persimpangan	77
LAMPIRAN C : Purata Trafik Harian di Semenanjung Malaysia	80
LAMPIRAN D : Contoh Pengiraan dengan MHCM	84
LAMPIRAN E : Contoh Pengiraan dengan HCM2000	93

SENARAI JADUAL

	Muka Surat
Jadual 2.1 : Faktor Pelarasan bagi Kadar Aliran Tepu (U.S. HCM (2000))	13
Jadual 2.2 : Hubungan antara Lebar Lorong dengan Aliran Tepu (Arahan Teknik (Jalan) 13/87 (1987))	16
Jadual 2.3 : Penjadualan $A = \frac{(1-\lambda)^2}{2(1-\lambda x)}$ (Arahan Teknik (Jalan) 13/87)	27
Jadual 2.4 : Penjadualan $B = \frac{x^2}{2(1-x)}$ (Arahan Teknik (Jalan) 13/87)	28
Jadual 2.5 : Syarat Pembetulan untuk K dalam Formula $d = CA + \frac{B}{q} - K$ Adalah Kedua-dua Syarat A dan B adalah Dalam Peratus (Arahan Teknik (Jalan) 13/87)	29
Jadual 2.6 : Hubungan Antara Kelengahan Kawalan, d_c dengan Kelengahan Berhenti, d_s (Cesar A. Quiroga, P.E (1999))	32
Jadual 3.1 : Nilai Unit Kereta Penumpang (Ukp) Untuk Manual Yang Digunakan	49
Jadual 3.2 : Kaedah Penjadualan Untuk Pemprosesan Data Cerapan Bagi Kaedah MHCM, HCM 2000 Dan Arahan Teknik (Jalan) Dalam Unit Bilangan Kenderaan	50

Jadual 3.3	: Kaedah Penjadualan Untuk Pemprosesan Data Cerapan Bagi Kaedah MHCM Dalam Unit Kereta Penumpang (Ukp)	50
Jadual 3.4	: Kaedah Penjadualan Untuk Pemprosesan Data Cerapan Bagi Kaedah HCM 2000 Dalam Unit Kereta Penumpang (Ukp)	51
Jadual 3.5	: Kaedah Penjadualan Untuk Pemprosesan Data Cerapan Bagi Kaedah Arahan Teknik (Jalan) Dalam Unit Kereta Penumpang (Ukp)	51
Jadual 4.1	: Definasi Setiap Lorong Untuk Persimpangan Simpang Tiga	57
Jadual 4.2	: Definasi Setiap Lorong Untuk Persimpangan Simpang Empat	57
Jadual 4.3	: Definasi Setiap Lorong Untuk Persimpangan Perkaka	57
Jadual 4.4	: Perbandingan Kelengahan Kawalan Untuk Persimpangan Simpang Tiga (s/kend)	59
Jadual 4.5	: Perbandingan Kelengahan Kawalan Untuk Persimpangan Simpang Empat (s/kend)	60
Jadual 4.6	: Perbandingan Kelengahan Kawalan Untuk Persimpangan Perkaka (s/kend)	61

SENARAI RAJAH

	Muka Surat
Rajah 2.1 : Hubungan antara Kelengahan Berhenti dengan Kelengahan Kawalan (Cesar A. Quiroga (1999))	33
Rajah 2.2 : Purata Kelengahan Kawalan Dianggar Dengan Mengguna Australia, Canadian, HCM, Markov chain dan Model Simulasi (Liping Fu (2000))	34
Rajah 3.1 : Carta Aliran Metodologi Kajian	37
Rajah 3.2 : Geometri Persimpangan Simpang Tiga	40
Rajah 3.3 : Kitar Fasa Persimpangan Simpang Tiga	40
Rajah 3.4 : Geometri Persimpangan Simpang Empat	41
Rajah 3.5 : Kitar Fasa Persimpangan Simpang Empat	41
Rajah 3.6 : Geometri Persimpangan Perkaka	42
Rajah 3.7 : Kitar Fasa Persimpangan Perkaka	42
Rajah 3.8 : Carta Aliran Tatacara Analisis Data Dengan MHCM (MHCM)	53
Rajah 3.9 : Carta Aliran Tatacara Analisis Data Dengan HCM 2000 (U.S. HCM 2000)	54
Rajah 3.10 : Carta Aliran Tatacara Analisis Data Dengan Arahan Teknik (Jalan)	55
Rajah 4.1 : Kedudukan dan Penandaan bagi Setiap Lorong Di Persimpangan Berlampu Isyarat	56
Rajah 4.2 : Graf Kelengahan Kawalan lawan Lorong Bagi Persimpangan Simpang Tiga	59

Rajah 4.3	: Graf Kelengahan Kawalan lawan Lorong Bagi Persimpangan Simpang Empat	60
Rajah 4.4	: Graf Kelengahan Kawalan lawan Lorong Bagi Persimpangan Perkaka	61

SENARAI PLAT

	Muka Surat
Plat 1.1 : Gambar foto persimpangan Simpang Tiga	4
Plat 1.2 : Gambar foto persimpangan Simpang Empat	5
Plat 1.3 : Gambar foto persimpangan Perkaka	5

BAB 1

Pengenalan

1.1 Pendahuluan

Persimpangan berlampu isyarat merupakan salah satu persimpangan jalan raya yang umum dalam sistem lalu lintas. Tujuan persimpangan berlampu isyarat digunakan adalah untuk memastikan keselamatan pengguna dan menyediakan pergerakan lalu lintas yang cekap. Sistem lalu lintas yang cekap dapat membantu membangunkan ekonomi negara terutamanya dalam sektor pengangkutan. Jadi, keadaan ini telah menunjukkan pentingnya untuk merekabentuk persimpangan berlampu isyarat yang cekap dan relevan kepada keadaan lalu lintas di Malaysia. Selain itu, objektif utama rekabentuk persimpangan berlampu isyarat adalah untuk memberikan hak laluan kepada kenderaan bagi mengurangkan kelengahan, konflik dan menambahkan kapasiti lalu lintas. Oleh itu, untuk memastikan aras perkhidmatan persimpangan berlampu isyarat sentiasa bersesuaian dengan permintaan, satu sistem pengurusan lalu lintas yang melibatkan rekabentuk persimpangan di Malaysia perlu diselaras dan diaplikasikan di seluruh negara.

Sebelum ini, rekabentuk persimpangan berlampu isyarat adalah berpandu kepada Traffic Road Research Laboratory (TRRL) yang dihasilkan oleh United Kingdom atau Highway Capacity Manual (HCM 2000) yang digunapakai oleh Amerika Syarikat. Faktor geometri yang mempengaruhi nilai aliran tepu dalam rekabentuk persimpangan berlampu isyarat dalam manual-manual tersebut adalah berdasarkan keadaan negara masing-masing. Contohnya, dalam HCM 2000,

kenderaan ringan iaitu motorsikal adalah tidak diambil kira. Ini mungkin disebabkan penggunaan kenderaan motosikal tidak begitu lumrah jika dibandingkan dengan negara Malaysia. Jadi, untuk mendapatkan faktor geometri dalam rekabentuk yang lebih relevan kepada keadaan lalu lintas di Malaysia, Malaysian Highway Capacity Manual telah dihasilkan dengan mengambilkira kombinasi semua jenis kenderaan lalu lintas dalam pengiraan aliran tepu untuk rekabentuk persimpangan berlampu isyarat

Dalam kajian ini, lokasi kajian adalah di sekitar Parit Buntar dan Nibong Tebal. Kedudukan Parit Buntar dan Nibong Tebal yang unik iaitu terletak di sempadan untuk Negeri Pulau Pinang, Kedah dan Perak telah menyebabkan ia tempat tumpuan ekonomi. Pembangunan yang pesat selepas penempatan USM Kampus Kejuruteraan dan MRSM Transkrian telah menyebabkan bilangan kenderaan bertambah dengan mendadak. Bukti penambahan bilangan kenderaan dapat diperhati melalui statistik Jabatan Kerja Raya, Purata Trafik Harian di AR 801 telah meningkat dari 5268 buah kenderaan pada tahun 2000 ke 6796 buah kenderaan pada tahun 2004.

Kajian ini akan memberikan penekanan kepada kelengahan lalu lintas. Perbandingan akan dilakukan terhadap nilai parameter kelengahan berdasarkan analisis menggunakan manual-manual rekabentuk untuk melihat kesesuaian aplikasi manual-manual tersebut untuk persimpangan berlampu isyarat di negara kita.

1.2 Objektif Kajian

Dalam kajian ini, terdapat objektif yang utama iaitu:

- i. Menentukan keberkesanan Malaysian Highway Capacity Manual dalam rekabentuk persimpangan berlampu isyarat di Malaysia dengan membandingkan kelengahan dengan HCM 2000 dan Arahan Teknik (Jalan) 13/87 dengan kelengahan di lapangan yang dicerap menggunakan Alat TDC-8.
- ii. Mengenalpasti kesesuaian penggunaan MHCM, HCM 2000 dan Arahan Teknik (Jalan) 13/87 di Malaysia.

1.3 Skop Kajian

Kajian yang dijalankan adalah untuk tiga persimpangan berlampu isyarat bersimpang empat yang terletak di sekitar Parit Buntar dan Nibong Tebal.

Persimpangan-persimpangan tersebut adalah :

- a) Persimpangan Simpang Tiga
- b) Persimpangan Simpang Empat
- c) Persimpangan Perkaka

Gambar ketiga-tiga persimpangan berlampu isyarat ditunjukkan dalam Plat 1.1, 1.2, dan 1.3.



Plat 1.1 : Persimpangan Simpang Tiga



Plat 1.2 : Persimpangan Simpang Empat



Plat 1.3 : Persimpangan Perkaka

1.4 Organisasi Tesis

Terdapat 5 bab pengkhususan dalam organisasi tesis kajian:

Bab 1 merupakan pengenalan kajian yang memberi gambaran asas mengenai kajian. Objektif dan skop kajian turut dinyatakan dan gambar ketiga-tiga persimpangan berlampu isyarat telah ditunjukkan.

Bab 2 adalah mengenai sorotan literatur kajian yang memberikan penerangan mengenai persimpangan berlampu isyarat. Selain itu, pengenalan untuk manual-manual dipilih dan parameter-parameter utama dalam pengukuran tahap perkhidmatan persimpangan berlampu isyarat iaitu aliran tepu, masa kitar, kapasiti dan kelengahan turut dinyatakan. Akhirnya, kaedah penukaran untuk kelengahan kawalan daripada kelengahan berhenti telah diterangkan.

Bab 3 adalah metodologi kajian yang memberi penerangan mengenai lokasi kajian, kaedah mencerap data di lapangan, kaedah pemprosesan cerapan data dan kaedah menganalisis data dengan menggunakan manual-manual analisis yang dipilih.

Keputusan analisis dan perbincangan terhadap keputusan telah diletakkan dalam Bab 4. Keputusan analisis telah ditunjukkan dalam bentuk jadual.

Bab 5 adalah tentang kesimpulan dan merupakan bab yang merumuskan perbincangan sebelum itu. Cadangan-cadangan yang membina untuk memperbaiki kaedah kajian juga diutarakan dalam bab ini.

BAB 2

SOROTAN LITERATUR

2.1 Pengenalan

Dalam sorotan literatur ini, tiga manual yang berkaitan dengan rekabentuk persimpangan berlampu isyarat iaitu Highway Capacity Manual 2000, Arahan Teknik (Jalan) 13/87 dan Malaysian Highway Capacity Manual dibincangkan. Perbandingan beberapa manual dengan keadaan semasa dibuat bagi mengenalpasti manual yang paling sesuai sekali digunakan di Malaysia.

Sejak manual-manual ini dikeluarkan, banyak perubahan dan pembaikan telah dijalankan terutamanya Highway Capacity Manual supaya dapat menampung keadaan semasa lalu lintas (TRB, 1994). Evolusi dan perubahan yang berkaitan dengan manual-manual akan dibincang dan diperkenalkan dalam bab ini.

Parameter – parameter untuk persimpangan berlampu isyarat dalam manual yang dapat menentukan keberkesanan persimpangan berlampu isyarat dengan keadaan semasa adalah kadar aliran tepu, kapasiti, darjah ketepuan dan kelengahan. Oleh itu, parameter-parameter ini telah dibincangkan dengan terperinci dalam sorotan literatur ini dengan mengikut turutan iaitu bermula daripada kadar aliran tepu dan diikuti dengan pengiraan kapasiti dan darjah ketepuan. Akhirnya, kelengahan dapat ditentukan.

2.2 Pengenalan dan Latar Belakang Manual-Manual yang Dikaji

2.2.1 Highway Capacity Manual 2000 (HCM 2000)

Highway Capacity Manual(HCM) yang pertama telah diterbitkan pada tahun 1950 oleh Bureau of Public Roads sebagai rujukan yang digunakan untuk mereka bentuk dan menganalisis operasi kemudahan lalu lintas dengan membekalkan asas pemerhatian kapasiti dan proses analisis (TRB, 1994). Pada tahun 1965, HCM edisi kedua telah diterbitkan oleh Highway Research Board dibawah pimpinan Highway Capacity Committee. Dalam manual ini konsep aras perkhidmatan telah diperkenalkan. Seterusnya, pelbagai kajian telah dijalankan oleh penyelidik dari pelbagai agensi yang disokong oleh National Cooperative Highway Research Program dan Federal Highway Administration, jadi HCM edisi ketiga telah diterbitkan pada tahun 1985. Semua kajian yang dijalankan oleh penyelidik untuk HCM adalah berada di bawah pimpinan Transportation Research Board Committee on Highway Capacity and Quality of Service. HCM edisi ketiga (1985) adalah merupakan manual teknikal yang bukan sahaja menentukan aras perkhidmatan untuk jalan raya tetapi ia juga dapat menentukan pelbagai kemudahan lalu lintas lain dengan penggunaan perisian komputer. Pada tahun 1994, edisi ketiga telah ditingkatkan dan peningkatan ini telah meningkatkan taraf penyelidikan professional. Selepas itu, HCM edisi ketiga telah dibaiki lagi menjadi HCM 2000 yang merupakan manual yang terbaru. Dalam HCM 2000, unit metrik dan unit S.I. digunakan di Amerika Syarikat dalam manual lama. Dalam memperbaiki kaedah analisis, HCM 2000 juga memasukkan beberapa topik yang relevan dan perbincangan dalam model-model simulasi.

2.2.2 Arahan Teknik (Jalan) 13/87

Arahan Teknik (Jalan) “A Guide to The Design of Traffic Signals” adalah digunakan untuk mereka bentuk lampu isyarat di semua persimpangan yang dihasilkan oleh Cawangan Jalan, Ibu Pejabat JKR, Malaysia pada tahun 1987. Panduan ini biasanya digunakan bersama-sama dengan Arahan Teknik (Jalan) 11/87 – “A Guide to The Design of At – Grade Intersection” dan Arahan Teknik yang lain.

Panduan ini mempersembahkan konsep dan praktis yang berkaitan dengan rekabentuk lampu isyarat di mana kaedah yang digunapakai adalah HCM 1985.

2.2.3 Malaysian Highway Capacity Manual (MHCM)

Kementerian Kerja Raya Malaysia telah mengeluarkan dua projek untuk menghasilkan Malaysian Highway Capacity Manual. Projek pertama bernama “Traffic Study Malaysia” yang telah dijalankan telah mendapati bahawa USHCM yang biasa digunakan sebagai panduan merekabentuk lebuhraya di Malaysia adalah tidak sesuai digunakan. Memandangkan keadaan tersebut, Unit Perancangan Jalan, HPU (Highway Planning Unit) telah meminta Highway and Transportation Group (HiTEG), Universiti Sains Malaysia untuk menjalani Kajian MHCM peringkat pertama pada tahun 2000.

2.3 Aliran Tepu Terlaras (Adjusted Saturation Flow)

Dari ketiga-tiga cara menentukan kadar aliran tepu didapati ketiga-tiga manual ini mempunyai cara penentuan yang berlainan. Walaupun persamaan Aliran Tepu ketiga-tiga manual adalah berlainan tetapi HCM 2000 dan MHCM mempunyai bentuk persamaan yang lebih kurang sama. Kedua-dua manual ini mempunyai pembezaan dari segi faktor pelarasan untuk jenis kenderaan ke atas kadar aliran tepu lalu lintas, faktor pelarasan untuk pejalan kaki dan basikal untuk memusing kiri dan kanan, faktor pelarasan untuk kegunaan lorong. Dalam HCM 2000, manual ini hanya mempertimbangkan kenderaan berat dalam lalu lintas dalam faktor pelarasan kadar aliran tepu. Keadaan ini berlaku kerana kenderaan berat yang banyak menggunakan jalan raya di dalam lalu lintas Amerika Syarikat. Tetapi keadaan ini adalah tidak lazim didapati di Malaysia, keadaan lalu lintas di Malaysia kebanyakan terdiri daripada kereta dan motorsikal. Oleh itu, faktor pelarasan untuk kadar aliran tepu yang digunakan dalam MHCM adalah faktor pelarasan gabungan yang melibatkan semua jenis kenderaan. Faktor pelarasan untuk pejalan kaki dan basikal untuk memusing kiri dan kanan dan faktor pelarasan untuk kegunaan lorong yang digunakan dalam HCM 2000 tidak digunakan dalam MHCM manakala faktor-faktor pelarasan lain yang digunakan adalah sama bagi kedua-dua manual tersebut dan adalah mencukupi.

Dalam arahan teknik pula, kadar aliran tepu adalah berdasarkan lebar lorong tersebut dan keadaan jalan seperti cerun, kerencaman lalulintas dan kenderaan yang memusing ke kanan. Dalam Arahan Teknik, faktor pelarasan adalah tidak begitu terperinci jika dibandingkan dengan HCM 2000 dan MHCM.

2.3.1 Konsep Aliran Tepu

Aliran tepu adalah aliran maksimum kenderaan dari baris-gilir yang boleh menyeberangi tanpa putus-putus garis berhenti jalan masuk persimpangan semasa lampu hijau berterusan dinyalakan di persimpangan dengan mengandaikan baris-gilir kenderaan adalah berlarutan dan selanjar (Hamzah, 2001). Aliran tepu adalah dipengaruhi oleh keadaan dan rekabentuk geometri jalan. Sebagai contoh, apabila jalan yang dilalui adalah kecil, kenderaan lalu lintas biasanya akan menghasilkan satu ruang yang panjang di antara kenderaan. Keadaan ini akan menyebabkan pengurangan nilai aliran tepu di kawasan itu.

Perubahan aliran tepu yang kecil akan menyebabkan perubahan yang besar dalam pengiraan masa kitaran dan masa antara hijau. Aliran tepu merupakan parameter yang paling penting dalam menganalisis persimpangan berlampu isyarat (Akcelik, 1981).

2.3.2 Penentuan Kadar Aliran Tepu dengan HCM 2000

Aliran Tepu untuk setiap lorong adalah ditentukan dengan menggunakan Persamaan (2.1) dan persamaan faktor pelarasan ditunjukkan dalam Jadual 2.1. Kadar Aliran Tepu adalah aliran kenderaan dalam 1 jam yang didapati di lorong tersebut dengan menganggap lampu hijau dalam fasa hijau adalah 100% bernyala (contoh : $g/C = 1.0$).

$$S = S_0 \times N \times f_w \times f_{HV} \times f_g \times f_p \times f_{bb} \times f_a \times f_{LU} \times f_{LT} \times f_{RT} \times f_{Lpb} \times f_{Rpb} \quad (2.1)$$

Di mana,

S = Kadar aliran tepu untuk kumpulan lorong(kend/j)

S_0 = Kadar aliran tepu asas untuk satu lorong (kend/j/lorong)

(biasanya = 1900 kend/j/lorong)

N = bilangan lorong dalam kumpulan lorong

f_w = faktor pelarasan untuk lebar lorong

f_{HV} = faktor pelarasan untuk kenderaan berat dalam aliran lalu lintas

f_g = faktor pelarasan untuk cerun

f_p = faktor pelarasan untuk lorong letak kereta

f_{bb} = faktor pelarasan untuk kesan halangan bas tempatan berhenti di
persimpangan

f_a = faktor pelarasan untuk jenis kawasan

f_{LU} = faktor pelarasan untuk kegunaan lorong

f_{LT} = faktor pelarasan memusing kiri

f_{RT} = faktor pelarasan memusing kanan

f_{Lpb} = faktor pelarasan pejalan kaki dan basikal untuk memusing kiri

f_{Rpb} = faktor pelarasan pejalan kaki dan basikal untuk memusing kanan

Jadual 2.1: Faktor Pelarasan bagi Kadar Aliran Tepu (U.S. HCM (2000))

Faktor	Formula	Petunjuk dan Keterangan	Catatan
Lebar Lorong	$f_w = 1 + \frac{(W - 3.6)}{9}$	W=lebar lorong (m)	$W \geq 2.4$ Jika $W > 4.8$, analisis 2 lorong digunakan
Kenderaan Berat	$f_{HV} = \frac{100}{100 + \%HV(E_T - 1)}$	%HV = % Kenderaan berat dalam isipadu kumpulan lorong	$E_T = 2.0$ pc/HV
Cerun	$f_g = 1 - \frac{\%G}{200}$	%G = % cerun di kumpulan lorong	$-6 \leq \%G \leq +10$ Negatif adalah cerun menurun
Letak Kenderaan	$f_p = \frac{N - 0.1 - \frac{18N_m}{3600}}{N}$	N = bilangan lorong dalam kumpulan lorong N_m = bilangan letak kenderaan maneuvers/jam	$0 \leq N_m \leq 180$ $f_p \geq 0.050$ $f_p = 1.000$ untuk tidak letak kenderaan
Halangan Bus	$f_{bb} = \frac{N - \frac{14.4N_B}{3600}}{N}$	N = bilangan lorong dalam kumpulan lorong N_B = bilangan bus berhenti/jam	$0 \leq N_B \leq 250$ $f_{bb} = 0.050$
Jenis Kawasan	$f_a = 0.900$ dalam CBD $f_a = 1.000$ dalam kawasan yang lain		

Faktor	Formula	Petunjuk dan Keterangan	Catatan
Kegunaan Lorong	$f_{LU} = \frac{v_g}{(v_{g1}N)}$	<p>V_g = keperluan kadar alir yang tidak diubah untuk kumpulan lorong, kend/jam</p> <p>V_{g1} = keperluan kadar alir yang tidak diubah untuk satu lorong dalam kumpulan lorong yang mempunyai isipadu yang tertinggi.</p> <p>N = Jumlah lorong dalam kumpulan lorong</p>	
Memusing Kiri	<p>Fasa :</p> <p>Lorong Khas:</p> $f_{LT} = 0.95$ <p>Kongsi lorong:</p> $f_{LT} = \frac{1}{1.0 + 0.05P_{LT}}$	<p>P_{LT} = Perkadaran LTs dalam kumpulan lorong</p>	
Memusing Kanan	<p>Lorong Khas:</p> $f_{RT} = 0.85$ <p>Kongsi Lorong:</p> $f_{RT} = 1.0 - (0.15)P_{RT}$ <p>Lorong Tunggal:</p> $f_{RT} = 1.0 - (0.135)P_{RT}$	<p>P_{RT} = Perkadaran RTs dalam kumpulan lorong</p>	$f_{RT} \geq 0.050$

Faktor	Formula	Petunjuk dan Keterangan	Catatan
Halangan oleh Pejalan kaki dan basikal	Pelarasan LT $f_{Lpb} = 1.0 - P_{LT} (1 - A_{pbT}) (1 - P_{LTA})$ Pelarasan RT $f_{Rpb} = 1.0 - P_{RT} (1 - A_{pbT}) (1 - P_{RTA})$	P_{LT} = Perkadaran LTs dalam kumpulan lorong A_{pbT} = pelarasan fasa yang dibenarkan P_{LTA} = perkadaran LT hijau terkawal bahagi dengan jumlah LT hijau P_{RT} = Perkadaran RTs dalam kumpulan lorong P_{RTA} = perkadaran RT hijau terkawal bahagi dengan jumlah LT hijau	

2.3.3 Penentuan Kadar Aliran Tepu dengan Kaedah Arahan Teknik (Jalan) 13/87

Merujuk Arahan Teknik (Jalan) 13/87, aliran tepu ialah aliran maksimum yang ditulis dengan unit setara kenderaan penumpang per jam. Persamaan untuk mengira aliran tepu menggunakan Arahan Teknik ialah Persamaan (2.2) di mana jika lebar jalan masuk melebihi 5.5 meter dan rujuk Jadual 2.2 jika lebar jalan kurang daripada 5.5 meter.

- a. Untuk lebar jalan masuk yang melebihi 5.5 meter, Persamaan (2.2) digunakan.

$$S = 525W \text{ ukp/jam} \quad (2.2)$$

- b. Untuk lebar ruang masuk (W) yang kurang daripada 5.5m, Jadual 2.2 digunakan.

Jadual 2.2: Hubungan antara Lebar Lorong dengan Aliran Tepu

(Arahan Teknik (Jalan) 13/87 (JKR, 1987))

W (m)	3.0	3.25	3.5	3.75	4.0	4.25	4.5	4.75	5.0	5.25
S (pcu/jam)	1845	1860	1885	1915	1965	2075	2210	2375	2560	2760

2.3.4 Penentuan Kadar Aliran Tepu dengan MHCM

Dalam MHCM, kadar aliran tepu adalah berdasarkan HCM 2000 yang telah diubahsuai mengikut keadaan lalu lintas di Malaysia iaitu dengan mengambil kira semua jenis kenderaan dalam lalu lintas sebagai faktor. Faktor pelarasan gabungan ini telah merangkumi faktor pelarasan kereta, kenderaan berat dan motorsikal telah diaplikasikan dalam Persamaan (2.3).

$$S = \frac{S_0 \times N \times f_w \times f_g \times f_p \times f_{bb} \times f_a \times f_{LT} \times f_{RT}}{f_c} \quad (2.3)$$

Di mana,

S = Kadar aliran tepu (kend/j)

S_0 = Kadar aliran tepu asas untuk satu lorong (kend/j/lorong)

(1930 kend/j/lorong)

N = bilangan lorong

f_w = faktor pelarasan untuk lebar lorong

f_g = faktor pelarasan untuk cerun

f_p = faktor pelarasan untuk lorong letak kereta

f_{bb} = faktor pelarasan untuk kesan bas berhenti di persimpangan

f_a = faktor pelarasan untuk jenis kawasan

f_{LT} = faktor memusing kiri

f_{RT} = faktor memusing kanan

f_c = faktor pelarasan gabungan kenderaan

Dan

$f_{car} + f_{HV} + f_m = f_c =$ Faktor komposisi trafik

$$f_{car} = e_{car} \left(\frac{q_{car}}{Q} \right)$$

$$f_{HV} = e_{trailer} \left(\frac{q_{trailer}}{Q} \right) + e_{lorry} \left(\frac{q_{lorry}}{Q} \right) + e_{bus} \left(\frac{q_{bus}}{Q} \right)$$

$$f_m = e_{motor} \left(\frac{M_T}{Q} \right)$$

$Q =$ Jumlah aliran kendaraan per jam $= q_{car} + q_{trailer} + q_{bus} + M_T$

q_{car} = Aliran kereta

$q_{trailer}$ = Aliran treler

q_{lorry} = Aliran lori

q_{bus} = Aliran bas

M_T = Jumlah motorsikal

2.4 Penentuan Kapasiti dan Darjah Ketepuan (v/c ratio)

Kapasiti adalah kadar aliran kebolehtampung (sustainable flow rate) yang maksimum di mana kenderaan dan pengguna melalui satu lorong atau sesuatu titik di dalam satu tempoh masa yang tertentu di bawah jalan raya, lalu lintas dan geometri jalan yang sedia ada (U.S. HCM 1994).

Kapasiti boleh dikira dalam beberapa tahap bergantung kepada jumlah maklumat yang diketahui. Pengiraan kapasiti boleh dilakukan untuk satu lorong tertentu atau semua lorong sekali. Kaedah pengiraan yang digunakan adalah bergantung kepada matlamat rekabentuk persimpangan.

Selepas merujuk kepada manual-manual, didapati HCM dan MHCM mempunyai persamaan kapasiti dan darjah ketepuan yang sama. Kedua-dua manual ini mempunyai persamaan yang sama kerana MHCM direkabentuk dengan berdasarkan HCM sebagai rujukan. Walaupun kedua-dua manual ini mempunyai persamaan yang sama tetapi keputusan yang didapati adalah berlainan kerana persamaan untuk pengiraan kadar aliran tepu untuk kedua-dua manual ini adalah berlainan.

2.4.1 Penentuan Kapasiti dan Darjah Ketepuan dengan HCM 2000 dan MHCM

Kapasiti di persimpangan berlampu isyarat adalah berdasarkan konsep aliran tepu dan kadar aliran tepu. Nisbah aliran dalam kumpulan lorong didefinisikan sebagai nisbah kadar aliran sebenar untuk kumpulan lorong (v_i) kepada kadar aliran tepu (s_i). Simbol nisbah aliran adalah $\left(\frac{v}{s}\right)_i$ untuk kumpulan lorong i. Kapasiti untuk kumpulan lorong adalah seperti Persamaan (2.4).

$$c_i = s_i \frac{g_i}{C} \quad (2.4)$$

Di mana,

c_i = kapasiti untuk kumpulan lorong i (kend/j)

s_i = kadar aliran tepu untuk kumpulan lorong i (kend/j)

$\frac{g_i}{C}$ = nisbah hijau berkesan untuk kumpulan i

Darjah Ketepuan (Nisbah v/c)

Nisbah kadar aliran kepada kapasiti (v/c), biasanya dipanggil sebagai nisbah isipadu kepada kapasiti diberi dengan simbol X dalam analisis persimpangan. Ia merupakan darjah ketepuan. Untuk kumpulan lorong i, X_i diberi dalam Persamaan (2.5).

$$X_i = \left(\frac{v}{c}\right)_i = \frac{v_i}{s_i \left(\frac{g_i}{C}\right)} = \frac{v_i C}{s_i g_i} \quad (2.5)$$

Di mana,

$$X_i = \left(\frac{v}{c} \right)_i = \text{nisbah untuk kumpulan lorong, } i$$

v_i = kadar aliran sebenar untuk kumpulan lorong i (kend/jam)

s_i = kadar aliran tepu untuk kumpulan lorong i (kend/jam)

g_i = masa hijau berkesan untuk kumpulan lorong i (saat)

C = masa kitaran (saat)

Nilai X_i yang melebihi 1.0 didapati apabila kadar aliran adalah lebih besar daripada kapasiti yang bermaksud keperluan melebihi kapasiti. Jadi, persimpangan tersebut telah mencapai tahap ketepuannya dan penambahbaikan perlu dijalankan.

2.4.2 Penentuan Kapasiti dengan Arahan Teknik (Jalan) 13/87

Nilai kapasiti Arahan Teknik (Jalan) 13/87 ditentukan dengan Persamaan (2.6).

$$Y_{\max} = 1 - \frac{L}{C_m} \quad (2.6)$$

Di mana,

Y_{\max} = kapasiti

L_m = jumlah masa hilang (saat)

C_m = masa kitar maksimum (saat)

Untuk kegunaan keadaan sebenar, $C_m = 120$ saat,*

Jadi, $Y_{\text{prac}} = 0.9 - 0.0075L$

* Untuk kegunaan rekabentuk, C_o digunakan dengan menggantikan C_m

C_o = masa kitar optimum (saat)

2.5 Kelengahan Yang Berlaku di Persimpangan Berlampu Isyarat

Kelengahan memainkan peranan yang penting dalam rekabentuk persimpangan berlampu isyarat terutamanya untuk menentukan aras perkhidmatan untuk persimpangan. Oleh sebab itu, kelengahan telah didefinisi dan diguna dalam pelbagai cara seperti kelengahan kawalan, kelengahan berhenti dan lain-lain.

Kelengahan kawalan adalah kelengahan yang melibatkan semua kelengahan yang berkaitan dengan persimpangan berlampu isyarat iaitu kelengahan nyahpecutan, kelengahan berhenti dan kelengahan pecutan. Kelengahan berhenti didefinisi sebagai masa sebuah kenderaan berhenti di persimpangan. Kenderaan berhenti bermaksud sesebuah kenderaan mestilah tidak bergerak atau bergerak dengan lambat dan jarak antara kenderaan dengan kenderaan di hadapannya adalah kurang daripada 3 buah kenderaan (Cesar A. Quiroga, 1999).

Daripada manual-manual yang dibincangkan, didapati HCM 2000 dan MHCM juga mempunyai bentuk persamaan kelengahan yang sama. Kedua-dua manual ini menggunakan kelengahan kawalan yang mempunyai satu faktor baru iaitu kelengahan dalam baris gilir telah dimasukkan dalam persamaan. Walaupun persamaan-persamaan untuk HCM 2000 dan MHCM adalah sama tetapi faktor pelarasan dalam persamaan adalah tidak sama antara satu sama lain.

2.5.1 Teori Anggaran Kelengahan Kawalan HCM 2000 dan MHCM

Nilai yang diterbitkan dari pengiraan kelengahan telah mewakili purata kelengahan kawalan yang dialami oleh semua kenderaan yang tiba pada tempoh analisis, termasuk kelengahan yang berlaku melebihi tempoh analisis apabila kumpulan lorong tersebut adalah tepu. Kelengahan kawalan termasuk kenderaan yang melambat dan kenderaan yang berhenti di persimpangan dan mula bergerak dari kedudukan berhenti dalam baris gilir.

Purata kelengahan kawalan per kenderaan untuk sesuatu kumpulan lorong adalah seperti Persamaan (2.7).

$$d = d_1(PF) + d_2 + d_3 \quad (2.7)$$

Di mana,

d = kelengahan kawalan per kenderaan (saat/kend)

d_1 = kelengahan kawalan seragam dengan andaian ketibaan kenderaan adalah seragam (saat/kend)

PF = Faktor pelarasan pergerakan bagi kelengahan seragam yang mengambil kira kesan pergerakan isyarat

d_2 = Kelengahan bertokok yang mengambil kira kesan daripada ketibaan secara rawak dan baris gilir tepuan lebih, disesuaikan selama tempoh analisis dan jenis kawalan isyarat. Komponen kelengahan ini telah menganggap bahawa tiada baris gilir awal bagi kumpulan lorong pada permulaan tempoh analisis (saat/kend)

d_3 = Kelengahan baris gilir mula, dimana kelengahan untuk semua kenderaan dalam tempoh analisis yang disebabkan baris gilir awal pada permulaan tempoh analisis telah diambil kira (saat/kend)

Faktor pelarasan pergerakan ditunjukkan oleh Persamaan (2.8) dan Kelengahan Kawalan Seragam ditunjukkan oleh Persamaan (2.9). Persamaan (2.10) menunjukkan rumus untuk Kelengahan Bertokok.

$$PF = \frac{(1-P)f_{PA}}{1 - \left(\frac{g}{C}\right)} \quad (2.8)$$

$$d_1 = \frac{0.5C \left(1 - \frac{g}{C}\right)^2}{1 - \left[\min(1, X) \frac{g}{C}\right]} \quad (2.9)$$

$$d_2 = 900T \left[(X-1) + \sqrt{(X-1)^2 + \frac{8klX}{cT}} \right] \quad (2.10)$$