

**KAJIAN CIRI LAJU-ALIRAN JALAN ARTERI: KAJIAN KES DI  
BUTTERWORTH, PULAU PINANG, MALAYSIA.**

**oleh**

**SURIA HARON**

**Tesis yang diserahkan untuk memenuhi keperluan bagi  
Ijazah Sarjana Sains**

**MEI 2005**

## PENGHARGAAN

Alhamdulillah, syukur ke hadrat Allah s. w. t kerana dengan limpah kurnia dan hidayatNya, saya telah berjaya menyempurnakan tesis ini.

Ingin saya rakamkan setinggi-tinggi penghargaan dan terima kasih saya kepada penyelia utama iaitu, Prof. Madya Dr Ahmad Farhan Sadullah, Pensyarah Pusat Pengajian Kejuruteraan Awam, penyelia bersama Prof. Madya Dr Wan Hashim Wan Ibrahim, Dekan Pusat Pengajian Kejuruteraan Awam, Universiti Sains Malaysia, Nibong Tebal, Pulau Pinang.

Tidak ketinggalan ucapan terima kasih saya kepada Bahagian Perancang Jalan, Kementerian Kerja Raya dengan kerjasama Universiti Sains Malaysia yang telah membantu membiayai kajian ini.

Ucapan terima kasih juga ditujukan kepada Prof. Madya Dr. Hamidi Abdul Aziz, Pensyarah Pusat Pengajian Kejuruteraan Awam, tidak lupa sahabat-sahabat seperjuangan di HiTEG (Highway and Transportation Engineering Group), Sdr. Ahmad Raqib Ab. Ghani, Sdr. Ade Asmi di Universiti Sains Malaysia, dan pelajar-pelajar Diploma Kejuruteraan Awam (2002), Universiti Teknologi MARA, Cawangan Perlis.

Penghargaan ini juga ditujukan buat suami dan anak-anak tercinta, ibu dan bapa serta keluarga tersayang atas segala pengorbanan dan sokongan yang dicurahkan sepanjang pengajian ini. Akhir kata, segala pengorbananmu, ku iringi dengan doa agar dirimu sentiasa diberi kesejahteraan dan dirahmatiNya.

## SUSUNAN KANDUNGAN

	Muka surat
<b>PENGHARGAAN</b>	ii
<b>KANDUNGAN</b>	iii
<b>SENARAI JADUAL</b>	vii
<b>SENARAI RAJAH</b>	ix
<b>SENARAI GAMBAR FOTO</b>	xv
<b>SENARAI LAMBANG</b>	xvii
<b>SENARAI SINGKATAN</b>	xviii
<b>ABSTRAK</b>	xix
<b>ABSTRACT</b>	xxi
<b>BAB 1.0 PENGENALAN</b>	
1.1 Umum	1
1.2 Kepentingan Kajian	6
1.3 Keistimewaan Kawasan Kajian	7
1.4 Objektif Kajian	13
1.5 Skop Kajian	14
1.6 Organisasi Tesis	16
<b>BAB 2.0 KAJIAN PERSURATAN</b>	
2.1 Pengenalan	17
2.2 Definisi Jalan Arteri	18
2.3 Perkembangan Awal Kajian Kapasiti Lalu Lintas	22
2.4 Perkembangan Awal Hubungan Laju-Aliran	24
2.5 Persamaan Hubungan Laju-Aliran dan Model-Model Laju- Aliran	31
2.5.1 Model Greenshields	34
2.5.2 Model Greenberg	35
2.5.3 Model Underwood	37
2.5.4 Model Drake	38
2.6 Perkembangan Kajian Hubungan Laju-Aliran Di Asia	40
2.7 Perkembangan Kajian Hubungan Laju-Aliran Di Amerika Utara, Eropah dan Australia	50

2.8	Penutup	59
<b>3.0</b>	<b>METODOLOGI KAJIAN</b>	
3.1	Pengenalan	61
3.2	Pemilihan Lokasi	63
3.3	Ciri-Ciri Laluan	64
3.4	Proses Pengumpulan Data	72
3.5	Cerapan Data Isipadu	74
3.6	Cerapan Data Masa Perjalanan	81
3.7	Cerapan Data Laju Aliran Bebas	83
3.8	Analisis Aliran Lalu Lintas	83
3.9	Analisis Laju Larian, Laju Perjalanan Dan Laju Aliran Bebas	86
3.10	Analisis Hubungan Antara Aliran, Ketumpatan Dan Kapasiti	87
3.11	Analisis Data Laju, Aliran Dan Ketumpatan	88
3.12	Perisian SPSS Keluaran 12.0	89
3.13	Analisis Regresi	90
3.14	Kesimpulan	91
<b>BAB 4.0</b>	<b>ANALISIS DATA</b>	
4.1	Pengenalan	94
4.2	Analisis Ciri-Ciri Jalan Arteri	95
4.3	Pola Aliran Semasa	96
4.3.1	Aliran lalu lintas dalam sejam pada setiap segmen	97
4.3.2	Aliran lalu lintas dalam sejam bagi keseluruhan segmen	102
4.3.3	Jumlah kenderaan pada keseluruhan segmen	104
4.3.4	Aliran dalam sehari	107
4.3.5	Aliran lalu lintas pada hari bekerja dan cuti hujung minggu	108
4.4	Komposisi Aliran	112
4.5	Peratus Gangguan Di Persimpangan	119
4.6	Pola Laju Larian Pada Setiap Segmen	124
4.7	Pola Laju Perjalanan Semasa	126
4.7.1	Pola laju dalam sejam	126

	4.7.2 Pola laju dalam sehari	129
4.8	Penutup	134
<b>BAB</b>	<b>5.0 PEMBANGUNAN MODEL</b>	
5.1	Pengenalan	137
5.2	Model Laju-Aliran Untuk Keseluruhan Segmen	138
	5.2.1 Model Greenshields	138
	5.2.2 Model Greenberg	140
	5.2.3 Model Underwood	143
	5.2.4 Model Drake	145
5.3	Model-Model Laju-Aliran Untuk Keseluruhan Segmen	147
5.4	Lengkung Laju-Ketumpatan Untuk Setiap Segmen	150
	5.4.1 Lengkung laju-ketumpatan untuk Zon A	150
	5.4.2 Lengkung laju-ketumpatan untuk Zon B	153
	5.4.3 Lengkung laju-ketumpatan untuk Zon C	155
	5.4.4 Lengkung laju-ketumpatan untuk Zon D	158
	5.4.5 Lengkung laju-ketumpatan untuk Zon E	161
5.5	Model-Model Laju-Aliran Untuk Setiap Segmen	164
5.6	Penutup	172
<b>BAB</b>	<b>6.0 KAJIAN SENSITIVITI</b>	
6.1	Pengenalan	174
6.2	Komposisi Aliran	175
6.3	Zon Sesak Dan Kurang Sesak	179
6.4	Jalan Bandar Dan Pinggir Bandar	180
6.5	Lebar Lorong	181
6.6	Faktor Bahu Jalan	183
6.7	Faktor Pembahagi Jalan	184
6.8	Lintasan Pejalan Kaki	185
6.9	Gangguan Di Persimpangan	186
6.10	Penutup	188

<b>BAB 7.0</b>	<b>KESIMPULAN</b>	
7.1	Umum	191
7.2	Cadangan Masa Hadapan	201
<b>RUJUKAN</b>		203
<b>LAMPIRAN</b>		
Lampiran A	Contoh Borang Cerapan Data Isipadu	206
Lampiran B	Contoh Borang Cerapan Data Masa Perjalanan	207
Lampiran C	Lakaran Simpang Kecil Dan Simpang Utama	208

## SENARAI JADUAL

		Muka surat
2.1	Tahap perkhidmatan jalan arteri mengikut kelas (Sumber: U.S. HCM (2000))	21
2.2	Simbol dan parameter dalam model laju-aliran (Sumber: U.S. HCM (2000))	33
2.3	Nilai-nilai penting untuk setiap model aliran lalu lintas (Sumber: Wan Hashim Wan Ibrahim (2005))	49
2.4	Perbandingan laju aliran bebas di lapangan dari penggunaan model (Sumber: Wan Hashim Wan Ibrahim (2005))	50
2.5	Kelas dan nilai kapasiti jalan yang berbeza (Sumber: U.S. HCM (2000))	56
3.1	Ciri-ciri laluan di jalan arteri meliputi penzonan kawasan kajian	72
3.2	Unit kereta penumpang (ukp), Arahan Teknik (Jalan) 8/86 (1986), JKR	80
4.1	Elemen-elemen yang diambilkira ialah jenis kawalan lalu lintas, faktor waktu puncak ( <i>FWP</i> ) dan nisbah masa hijau per kitaran ( <i>g/c</i> )	96
4.2	Peratus komposisi kenderaan untuk setiap segmen	113
4.3	Peratus gangguan di persimpangan	121
4.4	Elemen-elemen yang diambilkira dalam kajian ini	135
5.1	Nilai pekali berganda $R^2$ , dan lain-lain parameter untuk setiap model	148
5.2	Nilai kapasiti tertinggi, $Q_{mak}$ aliran lalu lintas untuk semua model	149
5.3	Nilai-nilai laju aliran bebas, $v_f$ laju optimum, $v_o$ ketumpatan sesak, $D_j$ dan ketumpatan optimum, $D_o$	149
5.4	Nilai pekali berganda, $R^2$ dan lain-lain parameter	164
5.5	Nilai-nilai laju aliran bebas, ketumpatan sesak, $D_j$ , laju optimum, $v_f$ dan ketumpatan optimum, $D_o$	166
5.6	Nilai-nilai kapasiti, $Q_{mak}$ (ukp/j/l) untuk setiap segmen	166
6.1	Nilai-nilai $v_f$ , $v_o$ , $Q_{mak}$ dan $D_o$ bagi unit kereta penumpang dan	178

unit kendaraan bagi Zon A dan Zon E

7.1	Nilai pekali berganda, $R^2$ untuk model-model laju-aliran	192
7.2	Nilai kapasitas, $Q_{mak}$ , ketumpatan optimum, $D_o$ dan laju aliran bebas, $v_f$ untuk empat jenis model	193



## SENARAI RAJAH

		Muka surat
1.1	Keistimewaan kawasan kajian	8
1.2	Peta Bandar Butterworth, Seberang Perai, Pulau Pinang	9
1.3	Lokasi kajian bermula dari Jalan Lingkaran Luar Butterworth (BORR) dan berakhir di Majlis Perbandaran Seberang Perai (MPSP)	15
2.1	Carta alir metodologi kajian jalan arteri (Sumber: U.S. HCM (2000))	21
2.2	Hubungan linear laju dan ketumpatan (Sumber: Greenshields (1935))	25
2.3	Hubungan parabolik laju dan aliran di Ohio (Sumber: Greenshields (1935))	26
2.4	Kehubungan laju-ketumpatan di Lincoln Tunnel, New York (Sumber: Greenberg (1959))	27
2.5	Kehubungan laju-ketumpatan Model Greenberg Diubahsuai (Sumber: Edie (1961))	28
2.6	Kehubungan laju-ketumpatan Model Underwood (Sumber: Underwood (1961))	28
2.7	Kehubungan laju-ketumpatan Model Underwood dan Model Greenberg yang diubahsuai (Sumber: Edie (1961))	29
2.8	Kehubungan laju-ketumpatan yang diubahsuai (Sumber: Drake et.al (1967))	29
2.9	Kehubungan-kehubungan laju-ketumpatan yang diubahsuai (Sumber: Drake et.al (1967))	30
2.10	Hubungan laju, ketumpatan dan aliran di lalu lintas tidak terganggu (Sumber: U.S. HCM (2000))	31
2.11	Kehubungan laju-ketumpatan di jalan lingkaran luar (Sumber: Lum (1998))	42
2.12	Cadangan lengkung laju-aliran di jalan lingkaran luar (Sumber: Lum (1998))	43
2.13	Ujian terhadap penggunaan pelbagai model di lebuhraya bandar, Jakarta, Indonesia (Sumber: Marler et.al (1994))	44

2.14	Model laju-aliran untuk jalan 2-lorong, 2-arah (Sumber: Marler et.al (1994))	45
2.15	Model laju-aliran untuk jalan 4-lorong, 2-arah (Sumber: Marler et.al (1994))	45
2.16	Cadangan kehubungan laju-aliran di jalan luar bandar (Sumber: Perunding Lee dan Rakan (1996))	46
2.17	Lengkung laju-ketumpatan Model Underwood (Sumber: Wan Hashim Wan Ibrahim (2005))	48
2.18	Lengkung laju-aliran Model Underwood (Sumber: Wan Hashim Wan Ibrahim (2005))	49
2.19	Kehubungan laju-aliran dicadangkan (Sumber: Hall et.al (1992))	52
2.20	Data untuk kehubungan laju-aliran di lebuhraya 4-lorong di Autobahns (Sumber: Stappert and Theis (1990))	52
2.21	Kehubungan laju-aliran yang ideal di lebuhraya (Sumber: U.S. HCM (1985))	53
2.22	Ciri-ciri laju-aliran yang ideal di lebuhraya 4-lorong (Sumber: U.S. HCM (1994))	54
2.23	Ciri-ciri laju-aliran yang ideal di lebuhraya 6-lorong (Sumber: U.S. HCM (1994))	54
2.24	Kehubungan laju-aliran di lebuhraya (Sumber: U.S. HCM (2000))	55
2.25	Kehubungan laju-aliran di lebuhraya berbilang lorong (Sumber: U.S. HCM (2000))	56
2.26	Perbezaan lengkung laju-aliran di Toronto, Kanada dan di United Kingdom (Sumber: Hall dan Montgomery (1993))	57
2.27	Ukuran dan anggaran kehubungan laju-aliran di Lebuhraya Eastern, Melbourne, Australia (Sumber: Akcelik (2003))	58
3.1	Carta alir metodologi kajian	61
3.2	Arah laluan lokasi kajian di Butterworth, Pulau Pinang	65
3.3	Lakaran laluan, kedudukan stesen dan zon kajian	75
4.1	Pola aliran lalu lintas setiap 15 minit dalam sejam bagi Zon A	98
4.2	Pola aliran lalu lintas setiap 15 minit dalam sejam bagi Zon B	99

4.3	Pola aliran lalu lintas setiap 15 minit dalam sejam bagi Zon C	100
4.4	Pola aliran lalu lintas setiap 15 minit dalam sejam bagi Zon D	101
4.5	Pola aliran lalu lintas setiap 15 minit dalam sejam bagi Zon E	102
4.6	Pola aliran lalu lintas setiap 15 minit dalam sejam bagi keseluruhan segmen	103
4.7	Jumlah kenderaan setiap hari dalam seminggu untuk setiap zon	105
4.8	Purata aliran lalu lintas dalam sehari bagi setiap segmen	106
4.9	Pola aliran lalu lintas setiap jam dalam sehari	107
4.10	Pola aliran lalu lintas dalam sela 15 minit pada hari bekerja dan hari cuti hujung minggu bagi Zon A	109
4.11	Pola aliran lalu lintas dalam sela 15 minit pada hari bekerja dan hari cuti hujung minggu bagi Zon B	109
4.12	Pola aliran lalu lintas dalam sela 15 minit pada hari bekerja dan hari cuti hujung minggu bagi Zon C	110
4.13	Pola aliran lalu lintas dalam sela 15 minit pada hari bekerja dan hari cuti hujung minggu bagi Zon D	111
4.14	Pola aliran lalu lintas dalam sela 15 minit pada hari bekerja dan hari cuti hujung minggu bagi Zon E	112
4.15	Peratus komposisi kenderaan untuk keseluruhan segmen	113
4.16	Jumlah komposisi aliran pada setiap hari dalam Zon A	114
4.17	Jumlah komposisi aliran pada setiap hari dalam Zon B	115
4.18	Jumlah komposisi aliran pada setiap hari dalam Zon C	116
4.19	Jumlah komposisi aliran pada setiap hari dalam Zon D	117
4.20	Jumlah komposisi aliran pada setiap hari dalam Zon E	118
4.21	Peratus gangguan di persimpangan berlampu isyarat (SU)	122
4.22	Peratus gangguan di persimpangan tanpa lampu isyarat (SK)	123
4.23	Purata laju larian pada aliran puncak menghala ke MPSP	125
4.24	Purata laju larian pada aliran puncak menghala ke BORR	125

4.25	Laju perjalanan pada waktu puncak pagi	127
4.26	Laju perjalanan pada waktu puncak tengahari	128
4.27	Laju perjalanan pada waktu puncak petang	129
4.28	Laju harian pada waktu puncak pagi pada hari bekerja	130
4.29	Laju harian pada waktu puncak pagi pada hari cuti	131
4.30	Laju harian pada waktu puncak tengahari pada hari bekerja	132
4.31	Laju harian pada waktu puncak tengahari pada hari cuti	132
4.32	Laju harian pada waktu puncak petang pada hari bekerja	133
4.33	Laju harian pada waktu puncak petang pada hari cuti	134
5.1	Lengkung laju-ketumpatan untuk Model Greenshields	139
5.2	Lengkung aliran-ketumpatan untuk Model Greenshields	139
5.3	Lengkung laju-aliran untuk Model Greenshields	140
5.4	Lengkung laju-ketumpatan untuk Model Greenberg	141
5.5	Lengkung aliran-ketumpatan untuk Model Greenberg	142
5.6	Lengkung laju-aliran untuk Model Greenberg	142
5.7	Lengkung laju-ketumpatan untuk Model Underwood	143
5.8	Lengkung aliran-ketumpatan untuk Model Underwood	144
5.9	Lengkung laju-aliran untuk Model Underwood	144
5.10	Lengkung laju-ketumpatan untuk Model Drake	145
5.11	Lengkung aliran-ketumpatan untuk Model Drake	146
5.12	Lengkung laju-aliran untuk Model Drake	146
5.13	Lengkung laju-aliran untuk semua model	148
5.14	Lengkung laju-ketumpatan Model Greenshields untuk Zon A	150
5.15	Lengkung laju-ketumpatan Model Greenberg untuk Zon A	151
5.16	Lengkung laju-ketumpatan Model Underwood untuk Zon A	152

5.17	Lengkung laju-ketumpatan Model Drake untuk Zon A	152
5.18	Lengkung laju-ketumpatan Model Greenshields untuk Zon B	153
5.19	Lengkung laju-ketumpatan Model Greenberg untuk Zon B	154
5.20	Lengkung laju-ketumpatan Model Underwood untuk Zon B	154
5.21	Lengkung laju-ketumpatan Model Drake untuk Zon B	155
5.22	Lengkung laju-ketumpatan Model Greenshields untuk Zon C	156
5.23	Lengkung laju-ketumpatan Model Greenberg untuk Zon C	156
5.24	Lengkung laju-ketumpatan Model Underwood untuk Zon C	157
5.25	Lengkung laju-ketumpatan Model Drake untuk Zon C	158
5.26	Lengkung laju-ketumpatan Model Greenshields untuk Zon D	159
5.27	Lengkung laju-ketumpatan Model Greenberg untuk Zon D	159
5.28	Lengkung laju-ketumpatan Model Underwood untuk Zon D	160
5.29	Lengkung laju-ketumpatan Model Drake untuk Zon D	161
5.30	Lengkung laju-ketumpatan Model Greenshields untuk Zon E	161
5.31	Lengkung laju-ketumpatan Model Greenberg untuk Zon E	162
5.32	Lengkung laju-ketumpatan Model Underwood untuk Zon E	163
5.33	Lengkung laju-ketumpatan Model Drake untuk Zon E	163
5.34	Lengkung laju-aliran untuk Zon A bagi semua model	168
5.35	Lengkung laju-aliran untuk Zon B bagi semua model	168
5.36	Lengkung laju-aliran untuk Zon C bagi semua model	169
5.37	Lengkung laju-aliran untuk Zon D bagi semua model	170
5.38	Lengkung laju-aliran untuk Zon E bagi semua model	171
6.1	Model laju-aliran perbezaan unit aliran kenderaan dengan unit kereta penumpang untuk Zon A	176
6.2	Model laju-aliran perbezaan unit aliran kenderaan dengan unit kereta penumpang untuk Zon E	177
6.3	Model laju-aliran untuk peratus kenderaan berat bagi Zon A	179

	dan E	
6.4	Model laju-aliran untuk zon kurang sesak dan zon sesak	180
6.5	Model laju-aliran untuk jalan pinggir bandar dan jalan bandar	181
6.6	Model laju-aliran untuk lebar lorong yang berbeza	182
6.7	Model laju-aliran untuk faktor bahu jalan di Zon A dan C	184
6.8	Model laju-aliran untuk faktor pembahagi jalan di Zon A dan E	185
6.9	Model laju-aliran untuk kedudukan lintasan pejalan kaki di Zon C dan E	186
6.10	Model laju-aliran untuk jarak antara persimpangan berlampu isyarat di Zon C, D dan E	188
7.1	Model Greenshields, Model Greenberg, Model Underwood dan Model Drake	194
7.2	Model Underwood untuk lebar lorong yang berbeza	195
7.3	Model Underwood untuk peratus kenderaan berat	196
7.4	Peratus gangguan di persimpangan berlampu isyarat (SU)	197
7.5	Pola aliran lalu lintas setiap jam dalam sehari	198
7.6	Laju perjalanan pada waktu puncak pagi	199
7.7	Laju perjalanan pada waktu puncak tengahari	200
7.8	Laju perjalanan pada waktu puncak petang	201

## SENARAI GAMBAR FOTO

		Muka surat
1.1	Pergerakan pelbagai jenis kenderaan di jalan arteri	4
1.2	Pelbagai komposisi aliran di persimpangan berlampu isyarat di jalan arteri, Butterworth, Pulau Pinang	6
1.3	Laluan bertingkat yang masih dalam pembinaan merupakan sebahagian dari Jalan Lingkaran Luar Butterworth (BORR)	10
1.4	Pelabuhan antarabangsa yang terletak di Bandar Butterworth	11
1.5	Bangunan Majlis Perbandaran Seberang Perai (MPSP)	12
1.6	Jambatan Sungai Prai merupakan sempadan Daerah Seberang Perai Utara dan Tengah	13
2.1	Kenderaan berat sedang berhenti di persimpangan berlampu isyarat	19
3.1	Kenderaan sedang menuruni cerun di Jambatan Sungai Prai yang terletak dalam lokasi kajian	62
3.2	Kenderaan sedang melepasi isyarat hijau di persimpangan jalan arteri	64
3.3	Zon had laju 60 km/j di laluan Zon B	66
3.4	Laluan 4 lorong-2 arah di Zon C yang sempit dan tiada bahu jalan	67
3.5	Kedudukan di persimpangan berlampu isyarat di Zon D	68
3.6	Keadaan lorong dan pembahagi jalan di Zon D	69
3.7	Lintasan pejalan kaki yang terletak dalam Zon E	70
3.8	Persimpangan lampu isyarat (SU3) yang terletak di Zon E	70
3.9	Laluan yang sesak dengan kenderaan berat menuju ke pelabuhan di Zon E	71
3.10	Sebuah tayar lori yang mewakili Stesen 1 dan 2 dalam Zon A	76
3.11	Sebatang tiang lampu dan gerbang besi yang mewakili Stesen 3 dan 4	77
3.12	Sebuah pondok menunggu bas yang mewakili Stesen 7 dan 8	77

3.13	Pencerap sedang merekodkan data di Stesen 1 dan 2	78
3.14	Pelbagai komposisi aliran sedang melintasi Jambatan Sungai Prai	81
3.15	Sebuah kereta ujian yang digunakan dalam cerapan data masa perjalanan	82
4.1	Kelihatan jumlah kenderaan berat yang tinggi di Zon E	119
4.2	Pergerakan kenderaan membelok ke kiri di simpang utama (SU1) masuk ke laluan utama di Jalan Chain Ferry di Zon C	120
4.3	Lorong membelok ke kiri tidak disediakan di Simpang Utama 1 (SU1)	112
4.4	Sebuah pejabat kerajaan yang terletak di simpang kecil 12 (SK12) bersebelahan dengan jalan arteri	124
6.1	Situasi di persimpangan berlampu isyarat ketika isyarat merah sedang beroperasi di Zon E	190



## SENARAI LAMBANG

$D$	ketumpatan (ukp/km/l)
$D_j$	ketumpatan sesak (ukp/km/l)
$D_o$	ketumpatan maksima (ukp/km/l)
$Q_{mak}$	kapasiti atau aliran maksima (ukp/j/l)
$R^2$	nilai pekali berganda
$v$	kadar aliran puncak (kend/j)
$V$	isipadu jam/isipadu jam puncak (kend/j)
$v_{15}$	kadar aliran puncak dalam sela 15 minit (kend/15 min)
$v_f$	laju aliran bebas (km/j)
$v_o$	laju optimum (km/j)
$\infty$	infiniti

## SENARAI SINGKATAN

BORR	<i>Butterworth Outer Ring Road</i>
bt/j/l	batu per jam per lorong
FWP	faktor waktu puncak
HCM	<i>Highway Capacity Manual</i>
JKR	Jabatan Kerja Raya
JLN/Jln	Jalan
kend/bt	kenderaan per batu
kend/j/l	kenderaan per jam per lorong
km/j	<i>kilometer per hour</i>
km/j/l	kilometer per jam per lorong
m	meter
MPSP	Majlis Perbandaran Seberang Perai
pcu/h/l	<i>passenger car unit per hour per lane</i>
s	saat
SG/Sg	sungai
SK	simpang kecil
SPG/spg	simpang
STN/stn	stesen
SU	simpang utama
ukp/h/l	unit kereta penumpang per hari per lorong
ukp/j/l	unit kereta penumpang per jam per lorong
ukp/km/l	unit kereta penumpang per kilometer per lorong
U.S. HCM	<i>United State Highway Capacity Manual</i>

# KAJIAN CIRI LAJU-ALIRAN JALAN ARTERI: KAJIAN KES DI BUTTERWORTH, PULAU PINANG, MALAYSIA.

## ABSTRAK

Kajian hubungan laju aliran adalah penting untuk memahami keadaan lalu lintas bagi sesebuah sistem jalan raya dan merupakan satu keperluan asas dalam kejuruteraan lalu lintas. Jalan arteri adalah jalan yang membawa aliran lalu lintas terus yang tinggi menuju ke bandar-bandar dan merupakan aliran lalu lintas terganggu oleh kesan daripada lampu isyarat yang jaraknya 3 km atau kurang.

Objektif kajian ini adalah untuk mengkaji kesesuaian model-model laju-aliran terhadap ciri-ciri jalan arteri yang menjadi kajian kes yang dipilih. Antara model-model asas aliran lalu lintas yang dianalisis ialah Model Greenshields, Greenberg, Underwood dan Drake. Kawasan kajian yang dipilih adalah di Butterworth, kerana ciri jalan arteri yang meliputi kedua-dua kawasan pinggir bandar dan bandar. Disamping itu, jalan arteri yang dipilih juga mempunyai ciri lalu lintas yang berbeza diantara segmen-segmen jalan yang membolehkan analisis terperinci dijalankan.

Kajian terperinci sepanjang jalan arteri bandar dan pinggir bandar telah dijalankan. Kawasan kajian dibahagikan kepada 5 segmen. Data aliran dicerap selama 12 jam setiap hari selama 6 hari menggunakan kaedah insani. Kaedah mengekori kereta diaplikasikan dalam cerapan data masa perjalanan dengan menggunakan 3 buah kereta ujian dan sebanyak 216 larian diperolehi.

Daripada analisis didapati, Model Underwood merupakan model terbaik bagi jalan arteri pinggir bandar manakala Model Greenberg didapati model terbaik bagi jalan arteri bandar. Didapati Model Underwood mencatatkan nilai pekali penentuan tertinggi,  $R^2$

bersamaan 0.6378, laju aliran bebas,  $v_f$  ialah 59 km/j dan kapasitasnya,  $Q_{mak}$  ialah 1063 ukp/j/l. Manakala Model Greenberg pula, mencatatkan nilai pekali penentuan tertinggi,  $R^2$  bersamaan 0.7020, laju optimum,  $v_o$  ialah 17.810 km/j dan kapasitasnya,  $Q_{mak}$  ialah 812 ukp/j/l.

Kajian ini telah juga mengenal pasti beberapa faktor yang mungkin mempengaruhi kesan persekitaran aliran lalu lintas terhadap model-model laju-aliran. Antara faktor-faktornya ialah pengaruh bilangan lorong, lebar lorong, faktor bahu jalan, faktor pembahagi jalan dan bilangan lintasan pejalan kaki. Didapati bahawa segmen C, yang mempunyai ciri-ciri kritikal untuk semua faktor ini merupakan segmen yang paling dipengaruhi.

Kajian ini juga mengambil kira ciri-ciri aliran lalu lintas mengikut tempoh tertentu seperti jam, hari dan minggu. Selain itu, analisis dibuat terhadap komposisi aliran dan peratus gangguan di persimpangan. Pola aliran lalu lintas pada setiap segmen dapat menggambarkan laju perjalanan berubah mengikut perubahan aliran lalu lintas.

Kesimpulannya, kajian ini telah mengenal pasti kesesuaian model-model laju-aliran untuk kawasan kajian, disamping memahami bagaimana ciri-ciri aliran serta faktor persekitaran mempengaruhi aliran lalu lintas.

# STUDY ON THE SPEED-FLOW CHARACTERISTICS OF AN ARTERIAL: A CASE STUDY OF BUTTERWORTH, PENANG, MALAYSIA

## ABSTRACT

The aim of this study is to understand the speed-flow characteristics of an arterial facility. Arterial is often defined as a road system that carries heavy traffic to towns with an interrupted traffic flow caused by traffic signals which has a distance of 3 km or less.

The main objective is to study the applicability of speed-flow models on an arterial. Among the models analysed were the Greenshields, Greenberg, Underwood and Drake Models. The study area chosen is in Butterworth, where arterial was chosen as it covers both suburban and urban areas. In addition, the chosen arterial also covers segments with varying characteristics enabling detail analysis to be carried out.

A detail study was carried out in the study area which was divided into 5 segments. The observation of flow data was done manually for 12 hours a day and for 6 days in a week. Using the car chasing method, 3 test cars were used, with a total of 216 travel times recorded.

The analysis shows that the Underwood Model is the best model for the suburban section of the arterial based on an  $R^2$  value, of 0.6378. The corresponding free-flow speed,  $v_f$  is 59 km/h and capacity,  $Q_{max}$  is 1063 pcu/h/l. Greenberg's Model is found to be the best model for urban section of the arterial based on an  $R^2$  value, of 0.7020. The corresponding optimum speed,  $v_o$  is 17.810 km/h and capacity,  $Q_{max}$  is 812 pcu/h/l.

The study had also determined factors that may possibly affect the speed-flow relationship. Factors include numbers of lane, road shoulder, road divider and activities of pedestrian crossing. It was also found that segment C of the arterial possesses critical characteristics for all of the above factors and was found to have had the highest effect.

The study also concentrates on the flow characteristics according to time period such as hourly, daily and weekly. Besides this, the analysis was done on traffic flow composition and percentage of interruption due to entry and existing at intersections. The profile of traffic flow was being able to show the changes in travel speed according to traffic flow condition.

As the conclusion, this study was able to determine the best speed-flow model for the study area and able to highlight how traffic flow characteristics and the surrounding factors may influence traffic flow.

# **BAB 1 PENGENALAN**

## **1.1 Umum**

Seiring dengan kemajuan dan pembangunan negara, sistem pengangkutan sering menjadi isu utama negara ketika ini. Kesesakan lalu lintas terutamanya di bandar-bandar besar dikaitkan dengan sistem operasi jalan raya yang kurang efisien, tiada perancangan yang teliti serta rekabentuk jalan yang tidak memenuhi piawai.

Fenomena kesesakan lalu lintas menyebabkan berlakunya pengurangan kelajuan yang menjadi punca kepada ketidakselesaan pemanduan dan kehilangan kos yang menjana kepada pertumbuhan ekonomi negara terutamanya ketika waktu puncak selain dari kemalangan yang mengakibatkan kehilangan nyawa kepada pengguna jalan raya. Pelbagai strategi telah dicadangkan untuk mengatasi permasalahan ini supaya tahap perkhidmatan jalan yang lebih baik kepada pengguna dapat disediakan.

Kaedah yang diaplikasikan untuk mengatasi masalah tersebut termasuklah pembinaan jalan raya baru dan persimpangan bertingkat, memperkenalkan zon kekangan untuk menghadkan kemasukan kenderaan berat ke kawasan-kawasan tertentu, menggalakkan penggunaan kenderaan awam, disamping menghadkan penggunaan kenderaan persendirian serta meningkatkan kapasiti jalan raya sedia ada. Apabila kapasiti sesuatu jalan ditingkatkan secara tidak langsung kesesakan lalu lintas akan berlaku terutamanya jika jalan tersebut merupakan jalan bandar.

Oleh itu permasalahan ini jika dilihat secara lebih komprehensif memerlukan satu penyelesaian jangka panjang selaras dengan kajian awal kehubungan laju-aliran oleh

Kajian Trafik Malaysia (Perunding Lee dan Rakan, 1996). Kajian yang dijalankan di kawasan luar bandar tersebut adalah untuk mendapatkan satu hubungan laju-aliran di sepanjang aliran lalu lintas yang tidak terganggu. Kajian Trafik Malaysia (1996) ini mencadangkan kesinambungan kajian hubungan laju-aliran ini di kawasan-kawasan bandar yang mempunyai kapasiti aliran lalu lintas yang lebih tinggi. Kajian hubungan laju-aliran diteruskan dengan beralih ke kawasan bandar dan pinggir bandar dimana aliran lalu lintasnya adalah merupakan aliran terganggu oleh kesan lampu isyarat. Kajian yang pertama ini merupakan sebahagian dari fasa awal pembikinan Manual Kapasiti Jalan Malaysia.

Perkembangan kajian hubungan laju-aliran di Malaysia dilihat masih baru dan ianya perlu dibangunkan sebagai langkah penambahbaikan kepada fasa pertama kajian awal hubungan laju-aliran agar lebih komprehensif dan berpotensi sebagai asas rujukan dan garis panduan untuk merealisasikan Manual Kapasiti Jalan Malaysia.

Tujuan kajian ini dijalankan adalah untuk mencari penyelesaian segera kepada masalah kesesakan yang semakin meruncing dan masih berlarutan sehingga kini. Persoalan ini hebat diperbincangkan oleh semua lapisan masyarakat termasuklah ahli-ahli politik, jurutera-jurutera dan orang ramai yang menjadi pengguna setia jalan raya. Pengguna perlu bijak merancang perjalanan agar tidak terperangkap dalam kesesakan lalu lintas. Oleh yang demikian, perlu dicari satu formula penyelesaian yang berkesan supaya dapat diaplikasikan di jalan-jalan arteri di seluruh Malaysia agar tindakan segera dapat diambil untuk meningkatkan lagi tahap perkhidmatan jalan yang sedia ada kepada tahap perkhidmatan yang lebih berkualiti lagi efisien.





Gambar foto 1.1: Pergerakan pelbagai jenis kenderaan di jalan arteri

Menurut Robertson et.al (1994), masa perjalanan dan kelengahan adalah elemen asas kepada pengukuran prestasi sesuatu jalan yang digunakan oleh para jurutera, perancang dan penganalisis. Kajian yang dijalankan ini melibatkan masa perjalanan yang mana mengambil kira elemen kelengahan. Data masa perjalanan yang diperolehi dari lapangan akan ditukarkan kebentuk persamaan laju perjalanan. Data aliran lalu lintas boleh diperolehi dari lapangan dengan lebih mudah berbanding dengan masa perjalanan. Kombinasi kedua-dua data tersebut melalui pendekatan matematik menghasilkan persamaan lengkung laju-aliran. Akhirnya, lengkung laju-aliran dapat menganggarkan purata laju perjalanan dalam zon kajian berdasarkan kepada jumlah aliran lalu lintas di sepanjang zon kajian. Apabila laju perjalanan dan aliran lalu lintas diketahui maka prestasi jalan tersebut dapat dikenal pasti dengan lebih mudah berdasarkan kepada lengkung laju-aliran.